

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**А. В. Касперович,
Ж. С. Шашок, В. В. Мозгалева**

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ШИН

*Рекомендовано
учебно-методическим объединением
по химико-технологическому образованию
в качестве учебно-методического пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по специальности
1-48 01 02 «Химическая технология органических веществ,
материалов и изделий» специализации
1-48 01 02 05 «Технология переработки эластомеров»*

Минск 2011

УДК 678.065(075.8)

ББК 35.728я73

К28

Р е ц е н з е н т ы :

доктор технических наук, профессор,
академик Международной академии наук экологии,
безопасности человека и природы, заведующий кафедрой
технологии переработки полимеров Воронежской
государственной технологической академии *Ю. Ф. Шутилин*;
заместитель главного инженера по технологии
ОАО «Белшина» *С. Н. Каюшников*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или ее части не может быть осуществлено без разрешения учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Касперович, А. В.

К28 Технология производства шин : учеб.-метод. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 1-48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 02 05 «Технология переработки эластомеров» / А. В. Касперович, Ж. С. Шашок, В. В. Мозгалева. – Минск : БГТУ, 2011. – 147 с.
ISBN 978-985-530-096-1.

Учебно-методическое пособие включает сведения о новейших достижениях в области строения шин; работе пневматических шин; строении армирующих материалов для шин; влиянии основных выходных свойств резин на эксплуатационные характеристики шин; подходах к построению и рекомендации по рецептуре шинных резин.

Пособие является основой для изучения дисциплины «Технология производства шин».

УДК 678.065(075.8)

ББК 35.728я73

ISBN 978-985-530-096-1

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2011
© Касперович А. В., Шашок Ж. С.,
Мозгалева В. В., 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

Автомобильная шина является одной из основных деталей автомобиля и сложным композиционным изделием, технология изготовления которого сложнее и существенно отличается от производства других резинотехнических изделий. От ее свойств зависят практически все эксплуатационные свойства автомобиля.

В настоящее время в Республике Беларусь выпускаются шины для карьерной, дорожно-строительной, подъемно-транспортной техники, легковых и грузовых автомобилей, автобусов, троллейбусов, тракторов, сельскохозяйственной и лесной техники.

подавляющая часть производимых шин имеет радиальную конструкцию. Это позволяет увеличить их пробег на 20–70% по сравнению с аналогичными покрышками диагональной конструкции, уменьшить расход топлива, увеличить безопасность езды и т. д. При этом также необходимо отметить, что современные радиальные шины в большинстве своем бескамерные, что обеспечивает более высокую долговечность (в среднем на 20%) по отношению к камерным шинам, лучшие стабильность внутреннего давления и температурный режим работы покрышки. Кроме того, бескамерные покрышки легче, безопаснее при езде, имеют меньшее сопротивление качению. Легче производить их монтаж и ремонт.

В литературе хорошо описана технология изготовления шин 70–80-х годов. Однако в настоящее время аппаратное оформление изготовления покрышек коренным образом изменилось в связи с применением новых принципов работы и оборудования, механизацией и автоматизацией процесса, а также использованием новых сырья и материалов.

В настоящем пособии изложены конструктивные особенности шин различного назначения, работа шины, рассмотрены армирующие материалы для шин, подходы к построению, даны рекомендации по рецептуре покровных, обкладочных, бортовых резин, резин для герметизирующего слоя, ездовых камер и диафрагм форматоров-вулканизаторов.

1. АВТОМОБИЛЬНЫЕ ШИНЫ ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

Со времени изобретения пневматической шины, без которой немислимо само существование современного автомобиля, минуло свыше 140 лет. Сегодня трудно даже поверить, что сначала шина предназначалась вовсе не для автомобиля.

На безлошадных экипажах она заменила массивные литые резиновые шины (так называемые грузоленты или гусматики). Первым, кто официально зарегистрировал изобретение пневматической шины, был Роберт Уильям Томсон, родившийся в Шотландии 29 июня 1822 г. в семье мелкого землевладельца. В 1844 г. в возрасте 22 лет он стал инженером железнодорожного транспорта, имел собственное дело и контору в Лондоне. Именно там и была изобретена пневматическая шина.

В патенте, датированном 10 июня 1846 г., написано: «Суть моего изобретения состоит в применении эластичных опорных поверхностей вокруг ободьев колес экипажей с целью уменьшения силы, необходимой для того, чтобы тянуть экипажи, тем самым облегчая движение и уменьшая шум, который они создают при движении». Патент Томсона написан на очень высоком уровне. В нем изложена конструкция изобретения, а также материалы, рекомендуемые для его изготовления.

На рис. 1 представлена конструкция «воздушного колеса» Томсона, описанная в названном патенте. Показано колесо телеги или экипажа. Шина накладывается на колесо с деревянными спицами, вставленными в деревянный обод, обитый металлическим обручем. Сама шина состояла из двух частей: камеры и наружного покрытия. Камера изготавливалась из нескольких слоев парусины, пропитанной и покрытой с обеих сторон натуральным каучуком или гуттаперчей в виде раствора. Наружное покрытие состояло из соединенных заклепками кусков кожи. Вся шина крепилась на обод болтами.

Кожаная покрышка обладала необходимым сопротивлением износу и многократным изгибам, а зная, что кожа растягивается при намокании и раздувается под действием внутреннего давле-

ния, легко понять, почему камеру пришлось усиливать парусиной. Далее патент описывает клапан, через который накачивают шину.

Томсон оборудовал экипаж воздушными колесами и провел испытания, измерив силу тяги экипажа. Испытания показали уменьшение силы тяги на 38% на щебеночном покрытии и на 68% на покрытии из дробленой гальки.

Особо отмечались бесшумность, удобство езды и легкий ход кареты на новых колесах.

Можно было констатировать, что появилось крупное изобретение: продуманное до конструктивного воплощения, доказанное проведенными испытаниями, готовое к совершенствованию. К сожалению, на том дело и закончилось. Не нашлось никого, кто бы занялся этой идеей и довел ее до массового производства с приемлемой стоимостью. После смерти Томсона в 1873 г. «воздушное колесо» было забыто, хотя образцы этого изделия сохранились.

В 1888 г. идея пневматической шины возникла вновь. Новым изобретателем был шотландец Джон Данлоп, чье имя известно в мире как автора пневматической шины. Данлоп предложил в 1887 г. надеть на колесо трехколесного велосипеда своего сына широкие обручи, сделанные из шланга для поливки сада и надуть их воздухом.

И уже 23 июля 1888 г. Дж. Данлопу был выдан патент на изобретение, а приоритет на применение «пневматического обруча» для транспортных средств подтверждал патент от 31 августа того же года.

Камера из резины крепилась на обод металлического колеса со спицами обматыванием ее вместе с ободом прорезиненной парусиной, образующей каркас шины, в промежутках между спицами (рис. 2).

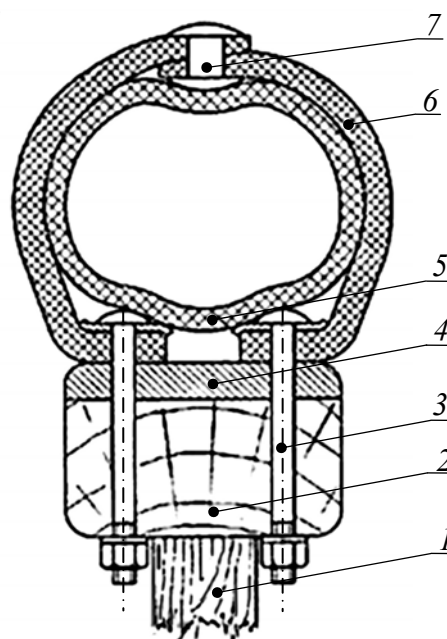


Рис. 1. «Воздушное колесо»

Томсона:

- 1 – деревянная спица;
- 2 – деревянный обод; 3 – болт;
- 4 – металлический обруч;
- 5 – камера; 6 – наружное покрытие; 7 – заклепка

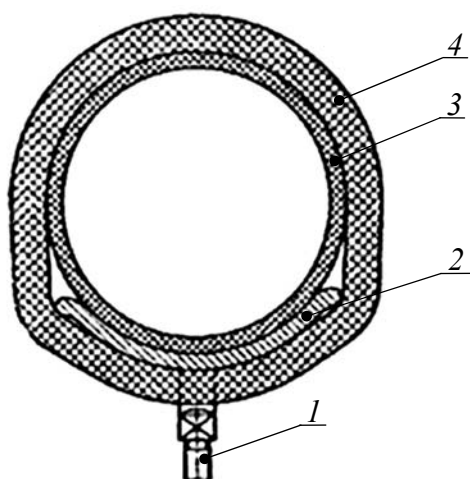


Рис. 2. Пневматическая шина Данлопа:
1 – спица; 2 – металлический обод; 3 – камера;
4 – прорезиненная парусина

Преимущества пневматической шины были оценены достаточно быстро. Уже в июне 1889 г. на стадионе в Белфасте Уильям Хьюм выступил в гонках на велосипеде с пневматическими шинами. И хотя Хьюма описывали как среднего гонщика, он выиграл все три заезда, в которых участвовал.

Коммерческое развитие изобретения началось с образования маленькой компании в Дублине и конце 1889 г. под названием «Пневматическая шина и агентство Бута по продаже велосипедов». В настоящее время это

«Данлоп» («Dunlop») – одна из крупнейших фирм в мире по изготовлению шин.

В 1890 г. молодой инженер Чальд Кингстн Уэлтч предложил отделять камеру от покрышки, вставлять в края покрышки проволоочные кольца и сажать на обод, который впоследствии получил углубление к центру (рис. 3).

Тогда же англичанин Бартлетт и француз Дидье изобрели вполне приемлемые способы монтажа и демонтажа шин. Все это определило возможность применения пневматической шины на автомобиле.

Первым, кто стал использовать пневматические шины на автомобилях, были французы Андре и Эдуард Мишлен, которые уже имели достаточный опыт в производстве велосипедных шин.

Они объявили, что к гонке в 1895 г. Париж – Бордо у них будут готовы пневматические шины

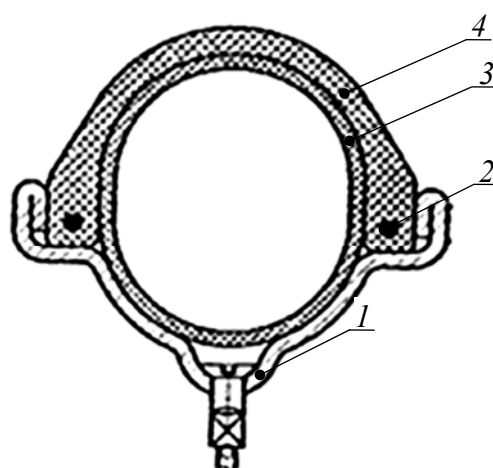


Рис. 3. Пневматическая шина Уэлтча:
1 – металлический обод;
2 – проволочное кольцо;
3 – камера; 4 – покрышка

для автомобилей, и они сдержали свое обещание. Несмотря на многочисленные проколы, автомобиль преодолел расстояние в 1200 км и достиг финиша среди девяти других машин своим ходом. В Англии в 1896 г. шинами «Данлоп» был оснащен автомобиль Ланчестер (рис. 4).



Рис. 4. Автомобиль «Ланчестер»

С установкой пневматических шин существенно улучшились плавность хода, проходимость автомобилей, хотя первые шины были не надежны и не приспособлены к быстрому монтажу. В дальнейшем основные изобретения в области пневматических шин были, прежде всего, связаны с повышением безотказности и долговечности их, а также с облегчением монтажа-демонтажа. Потребовалось много лет постепенного совершенствования конструкции пневматической шины и способа ее изготовления, прежде чем она окончательно вытеснила литую резиновую.

Стали применяться все более надежные и долговечные материалы, появился в шинах корд – особо прочный слой из упругих текстильных нитей. В первой четверти XX столетия все чаще стали использовать конструкции быстросъемных креплений колес к ступицам на нескольких болтах, что позволило менять

шины вместе с колесом в течение нескольких минут. Все эти усовершенствования привели к повсеместному применению пневматических шин на автомобилях и бурному развитию шинной промышленности.

Во время Первой мировой войны начались разработки конструкций шин для грузовых автомобилей и автобусов. «Пионерами» в этом отношении были США. К 1925 г. в мире насчитывалось порядка 4 млн. автомобилей с пневматическими шинами, т. е. практически это весь парк, за некоторым исключением отдельных типов грузовиков.

Возникли крупные фирмы по производству шин, многие из которых существуют и сейчас, а именно «Данлоп» («Dunlop») в Англии, «Мишлен» («Michlen») во Франции, «Гудьир» («Good Year»), «Файрстоун» («Firestone») и «Гудрич» («Goodrich») в США, «Континенталь» («Continental») в Германии, «Пирелли» («Pirelli») в Италии.

К концу 20-х годов возможность создания конструкций шин за счет интуиции инженера, наугад, уходит в прошлое. Назревает настоятельная необходимость научного подхода к конструированию работоспособных пневматических шин. К этому времени уже имелась достаточно освоенная химическая технология, которую можно было использовать для решения проблем приготовления резиновых смесей шин. В области конструирования и испытания автомобильных шин опыт появился не сразу, а в результате практической деятельности фирм и научных исследований ряда стран. Создаются испытательные стенды для экспериментального определения эксплуатационных характеристик шин.

В 30-х годах продолжались работы над осмысливанием той роли, которую играет пневматическая шина в обеспечении управляемости и устойчивости автомобиля, а также над внешней формой и рисунком той части шины, которая входит в контакт с дорогой.

Вторая мировая война заставила принять ряд серьезных мер по использованию синтетического каучука (СК) вместо натурального (НК) в рецептурах резин шинной промышленности. Применение же СК в рецептуре шинных резин в бывшем СССР относится еще к 1933 г., а к 1940 г. потребление СК в шинах достигло 73%. Благодаря специфическим свойствам СК и их влиянию на эксплуатационные характеристики шин появились перспективы создания новых типов усовершенствованных шин.

Другой значительный шаг связан с применением корда из вискозы и нейлона. Экспериментальные шины с вискозой сразу же выявили улучшение эксплуатационных характеристик и резкое сокращение случаев выхода шин из строя. Нейлон позволил изготавливать шины с большой прочностью. Увеличение прочности и сопротивления ударным нагрузкам для шин с новыми материалами было столь значительным, что разрывы каркаса, как основная причина выхода шин из строя, практически перестали иметь место.

В середине 50-х годов появилась новая разработка в конструкции шин. Основной особенностью новой шины, предложенной фирмой «Michlen», был жесткий пояс в шине, состоящий из слоев металлокорда. Нити корда располагались радиально от борта до борта. Такие шины получили название радиальных. Результатом испытания новой шины фирмы «Michlen» явилось увеличение ходимости почти вдвое по сравнению с диагональным расположением нитей корда.

В конце 50-х годов повсеместно значительное внимание уделяется шинам, обеспечивающим высокие сцепные свойства как на сухом, так и на мокром полотне и высокую износостойкость.

В 60-х годах значительное изменение претерпела такая характеристика конструкции шины, как отношение высоты шины H к ширине профиля B . Первые шины в разрезе представляли собой почти правильный круг, высота которого равнялась ширине. Затем отношение величин H/B последовательно уменьшалось до 0,7 и даже 0,6 к 1980 г.

Целью стремления к низким профилям шин явилось увеличение площади контакта с дорогой, что улучшает боковую устойчивость, тягово-сцепные свойства и продлевает срок службы шин. Преимущества радиальных шин проявляются в большей степени от того, что их изготавливают низкопрофильными.

Пневматическая шина в 70-х годах достигла уровня совершенства, который трудно было представить в 50-х годах. Удовлетворялись потребности автомобилистов в увеличении безопасности езды и снижении расхода топлива. Именно в 70-х годах произошел быстрый переход легкового транспорта на радиальные шины, которые к концу этого десятилетия стали использоваться практически по всему парку, что сопровождалось увеличением срока службы.

В 80-х годах появилась конструкция шины фирмы «Continental» с креплением на Т-образном ободе колеса, обеспечивающая безопасное движение на небольшой скорости даже при спущенных шинах.

Дальнейшее усовершенствование шин идет и в направлении применения более современных материалов, уменьшения содержания резины в каркасе, повышения прочности корда, снижения слойности каркаса, улучшения связи корда с резиной, создания шин с малой высотой и большой шириной профиля, увеличения насыщенности рисунка и применения ребристых и комбинированных рисунков протектора.

2. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ШИН

Конструкция современной шины у всех производителей в принципе одинаковая, но в то же время по своей структуре она представляет собой сложный элемент в виде замкнутого кольца торообразной формы.

Пневматическая шина – это упругая оболочка, наполненная сжатым воздухом и укрепленная на ободе колеса.

К основным требованиям, предъявляемым к шинам, относятся: передача нагрузки автомобиля на поверхность дороги; передача приводных, тормозных и направляющих сил на поверхность дороги; образование поперечных сил, необходимых для поворота и удерживания направления движения; амортизация ударов; обеспечение достаточной эластичности и способности преодолевать препятствия; точное и быстрое реагирование на управление; хорошее сцепление с поверхностью дороги при различных условиях; низкое сопротивление качению; низкий уровень шума и вибрации; долговечность; безопасность движения; комфорт езды; минимальная масса, экологические аспекты.

В зависимости от назначения выпускают шины: для легковых, грузовых и большегрузных автомобилей, автоприцепов, автобусов, троллейбусов, строительных, дорожных, подъемно-транспортных и сельскохозяйственных машин, тракторов, мотоциклов и велосипедов.

Пневматические шины различаются по способу герметизации внутреннего объема, расположению нитей корда в каркасе, отношению высоты к ширине профиля, типу протектора и др.

2.1. Строение пневматической шины

Автомобильная шина состоит из резинотекстильной или резинометаллокордной оболочки – покрышки (рис. 5), воздухонепро-

нищаемой замкнутой тороидальной камеры (или гермослоя для бескамерной шины) и ободной ленты. В рабочем состоянии камера наполнена воздухом под определенным давлением. У бескамерных шин вместо камеры на внутренней стороне покрышки нанесен специальный герметизирующий слой. Амортизирующая способность автомобильной шины определяется давлением воздуха в шине и эластичностью покрышки.

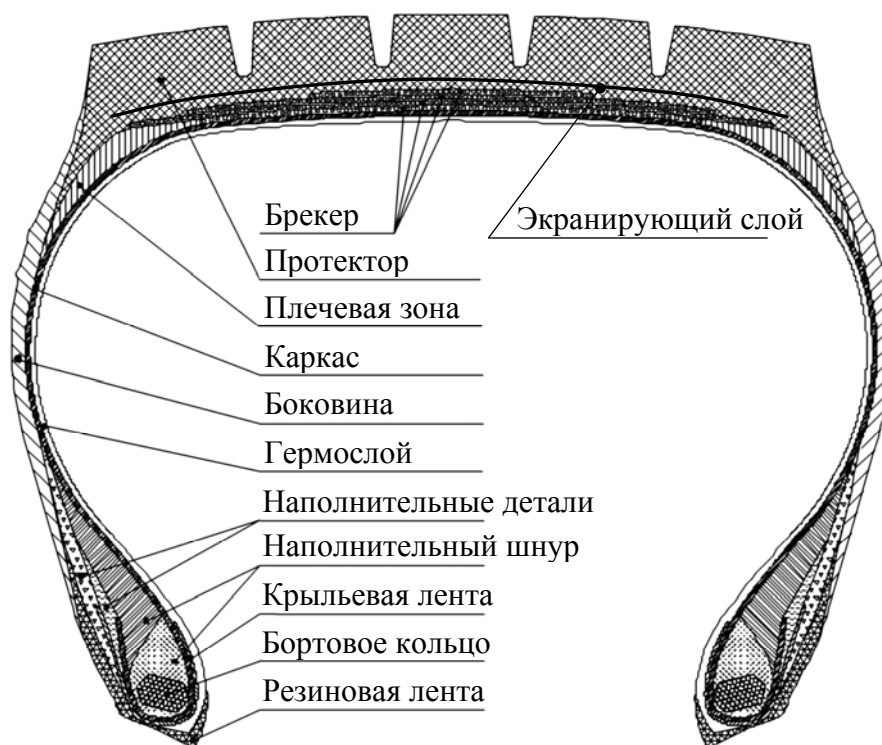


Рис. 5. Структура покрышки

Конструкция и материал элементов шины не всегда одинаковы у шин различных типов. Так, шины легковых автомобилей по конструкции отдельных элементов, габаритным размерам и качеству применяемых материалов отличаются от шин грузовых автомобилей.

Покрышка имеет сложную конфигурацию и состоит из нескольких конструктивных элементов (рис. 6), которые отличаются друг от друга своей конструкцией и функцией.

Область каркаса – это часть покрышки, образованная слоями каркаса из обрезиненного корда, завернутых около бортовых колец.

Каркас, являясь основной силовой частью покрышки, ограничивает объем накачанной камеры и воспринимает нагрузки, дейст-

вующие на шину. Основной нагрузкой на шину является собственная масса автомобиля и масса перевозимого груза или пассажиров.

Каркас должен обладать значительной прочностью, а также определенной эластичностью. Он состоит из нескольких наложенных друг на друга слоев прорезиненного корда и резиновых прослоек – сквиджей. Прочность шины определяется прочностью каркаса и главным образом зависит от прочности корда, так как модуль упругости его на несколько порядков больше модуля упругости резины.

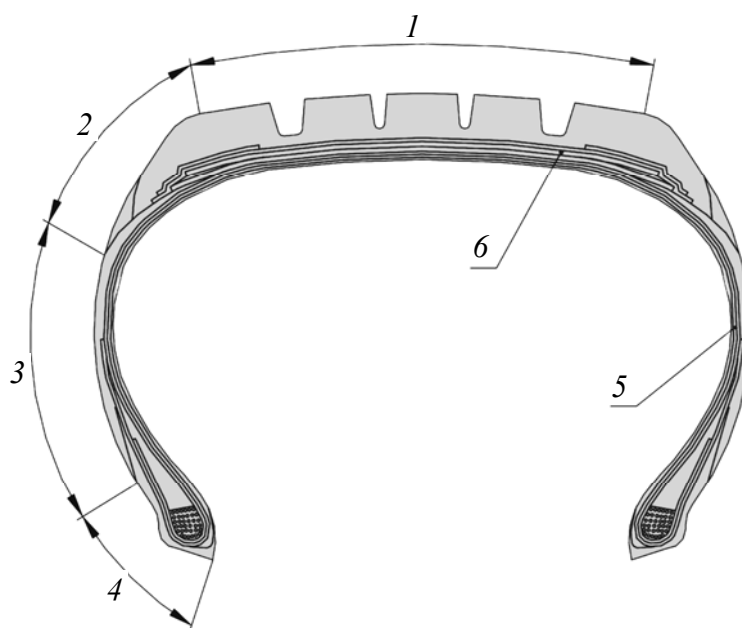


Рис. 6. Основные элементы покрышки:
1 – область короны; 2 – область плечевой зоны;
3 – область боковины; 4 – область борта;
5 – область каркаса; 6 – область брекера

Каркас представляет собой слои обрезиненного корда, нити которого расположены под углом $0-5^\circ$ по отношению к центральной плоскости протектора у радиальных покрышек и под углом близким к $45-60^\circ$ у диагональных покрышек.

Нити смежных слоев корда перекрещиваются между собой под определенным углом. Каждая нить изолирована от соседних и в то же время связана с ними резиной. Резина предохраняет кордовые нити от влаги, перетирания и способствует равномерному распределению нагрузок между ними.

Форма каркаса и число слоев корда в нем определяются расчетом исходя из заданного давления воздуха, нагрузки, типа и

назначения шины. Кордные нити несут основную нагрузку во время работы шины, обеспечивая последней прочность, эластичность, износостойкость и сохранение заданной формы. Кордная нить в покрышке работает главным образом на растяжение и многократный изгиб. Эти напряжения возникают, как правило, в результате давления воздуха и действия центробежных сил, которые создают в корде растягивающие напряжения. Значительное влияние на работу каркаса оказывают толщина корда, его плотность, теплоустойчивость и другие физико-механические свойства. Под действием приложенных к колесу сил шина деформируется только на определенном участке окружности – в рабочей зоне, расположенной в области контакта шины с дорогой и равной приблизительно одной трети длины окружности как для легковых, так и для грузовых автомобилей.

Часть покрышки между несущими слоями каркаса и протектором называется брекером.

Брекер представляет собой армированный кордом слой, наложенный под острым углом к центральной оси протектора (не менее 65°), который функционально ограничивает каркас в контурном направлении и состоит из двух и более слоев разреженного корда, перемежающихся утолщенными слоями резины. Утолщенные слои резины обеспечивают возможность перемещения нитей корда брекера в процессе работы шины.

Конструкция брекера зависит от типа и назначения покрышки. Он нужен для усиления каркаса и улучшения связи между каркасом и протектором, которая должна быть максимально возможной. Необходимая связь достигается правильным подбором материала брекера. Брекерные резины должны обеспечивать плавный переход жесткости от каркаса к протектору, что оказывает серьезное влияние на интенсивность износа протектора шины.

Брекер смягчает действие ударных нагрузок на каркас шины, способствует более равномерному распределению их по поверхности покрышки, воспринимает многократные деформации на растяжение, сжатие и сдвиг, что, однако, приводит к значительному теплообразованию в связи с недостаточной теплопроводностью резины. Поэтому брекерный слой, как правило, имеет более высокую температуру (до $+120^\circ\text{C}$) по сравнению с другими элементами покрышки.

Область короны покрышки – это участок покрышки в протекторной зоне, соприкасающийся с поверхностью дороги. Протектор может быть однослойным (рис. 7) или двухслойным (рис. 8).

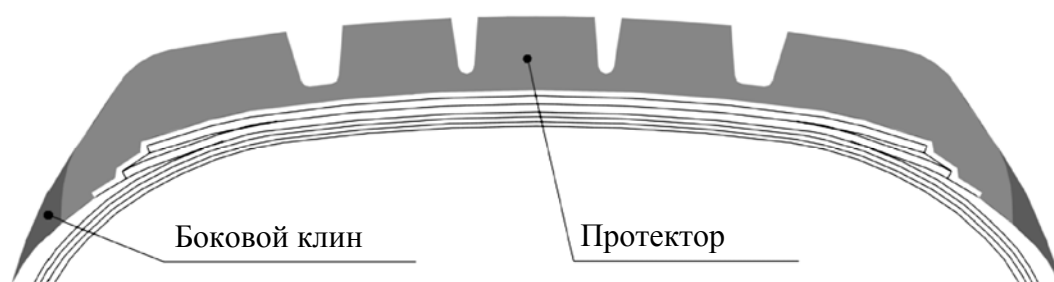


Рис. 7. Однослойный протектор

Протектор представляет собой толстую профилированную резину, расположенную на внешней стороне покрышки и входящую в непосредственный контакт с дорогой при качении колеса. Протектор обеспечивает необходимый эксплуатационный ресурс шины, надлежащее сцепление с дорогой, смягчает воздействие толчков и ударов на каркас шины, уменьшает колебания (в первую очередь, крутильные) в трансмиссии автомобиля, а также предохраняет каркас от механических повреждений. В процессе качения колеса элементы протектора работают на двустороннее сжатие и сдвиг, а также на растяжение. Эти деформации по абсолютному значению больше, чем у каркаса и брекера.

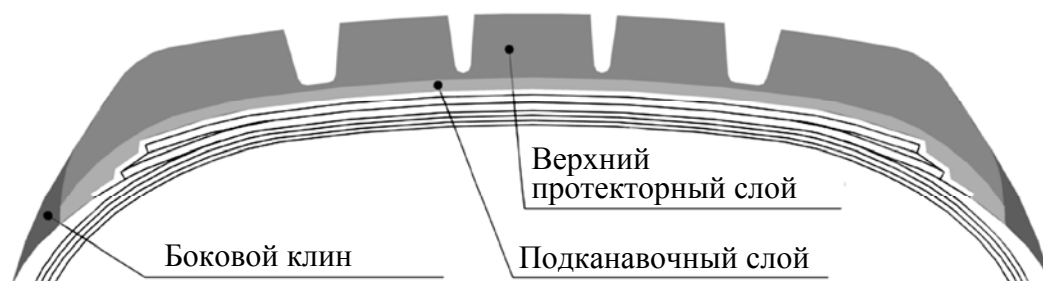


Рис. 8. Двухслойный протектор

Двухслойный протектор представляет собой верхний слой протектора с более высокой стойкостью к истиранию и подканавочный слой протектора, который имеет более низкие гистерезисные потери при динамических нагрузках.

Протектор состоит из рельефного рисунка и подканавочного слоя, который обычно составляет 20–30% от толщины протектора. Слишком тонкий подканавочный слой способствует растрескиванию протектора, повышению деформации нитей корда первого слоя каркаса, уменьшению прочности каркаса при действии

сосредоточенной нагрузки. Излишне толстый слой ухудшает условия охлаждения шины, приводит к перегреву и расслоению покрышки. Протектор имеет неодинаковую толщину у шин различных конструкций и назначения. Чем толще протектор, тем больше пробег шин до его полного истирания, тем лучше он защищает каркас от внешних воздействий. Однако толстый протектор делает шину тяжелее, приводит к ее перегреву и расслоению, увеличивает момент инерции колеса и его сопротивление качению. Толстый протектор вызывает повышенное теплообразование при больших скоростях движения, когда появляются дополнительные деформации протектора в результате значительного увеличения инерционных сил. Толщина протектора у шин легковых автомобилей колеблется от 7 до 12 мм, у шин грузовых автомобилей – от 14 до 22 мм.

Рисунок, выпрессованный или вырезанный на протекторе, называется рисунком протектора.

Область плечевой зоны покрышки – это часть покрышки между беговой дорожкой и боковиной. Плечевая зона может быть округлая или острая. По типу протектора плечевая зона имеет закрытый или открытый рисунок, который обеспечивает лучший отвод воды с поверхности контакта шины с дорогой (рис. 9).

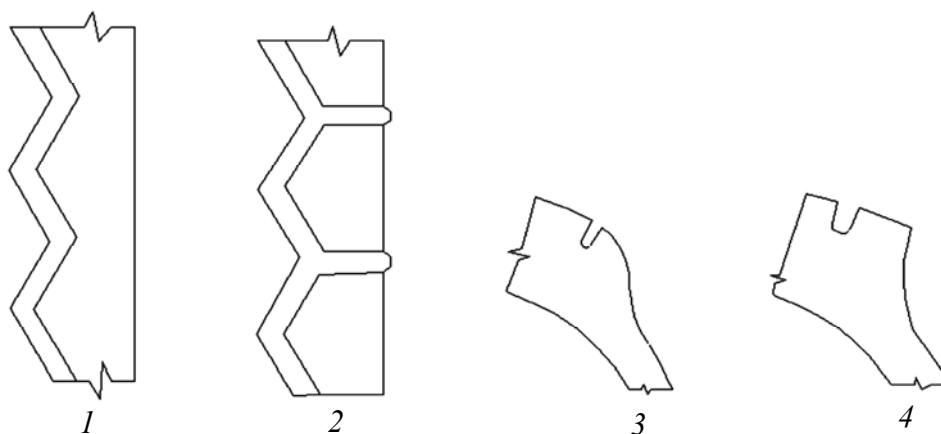


Рис. 9. Плечевая зона покрышки:

1 – закрытая; 2 – открытая; 3 – округленная; 4 – острая

Область боковой зоны покрышки – это зона покрышки между бортом и плечевой зоной. Боковина представляет собой слой резины, наложенный на каркас. На боковину наносятся надписи покрышки, декоративные и защитные пояски, центрирующий инди-

каторный кружок, с помощью которого контролируется правильность посадки борта на обод (рис. 10).

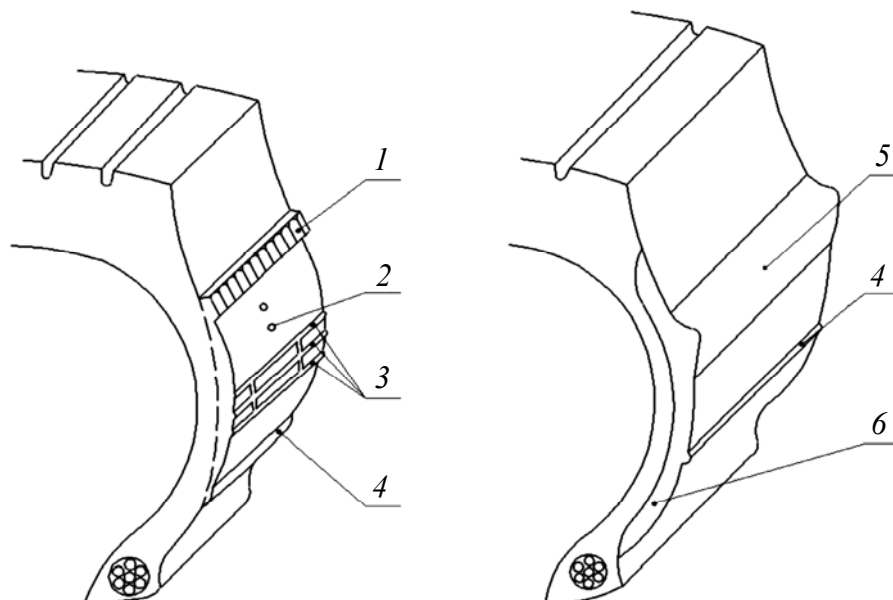


Рис. 10. Боковина борта:

- 1 – декоративный пояс; 2 – отпечатки воздухоотводящих отверстий;
3 – отпечатки воздухоотводящих канавок; 4 – центрирующий
бортовой кружок; 5 – защитный пояс; 6 – боковина борта

Боковина предохраняет каркас от механических повреждений и влаги. Они должны быть достаточно эластичными и, следовательно, достаточно тонкими, чтобы длительное время выдерживать многократные изгибы и мало влиять на жесткость каркаса. Их изготавливают как одно целое с протектором и из протекторных резиновых смесей.

Жесткая часть шины, служащая для крепления ее на ободе колеса, носит название области борта покрышки (рис. 11).

В структуру бортовой части входит ряд элементов: крыло, крыльевая лента, бортовое кольцо, бортовая лента и наполнительный шнур. Крыло покрышки состоит из бортового кольца, выполненного из стальной проволоки, наполнительного резинового шнура, обертки бортового кольца и усилительных ленточек. Металлическое кольцо необходимо для придания борту требуемой прочности, а наполнительный шнур способствует оформлению борта и его монолитности. Бортовое кольцо и шнур обматывают прорезиненной бортовой лентой.

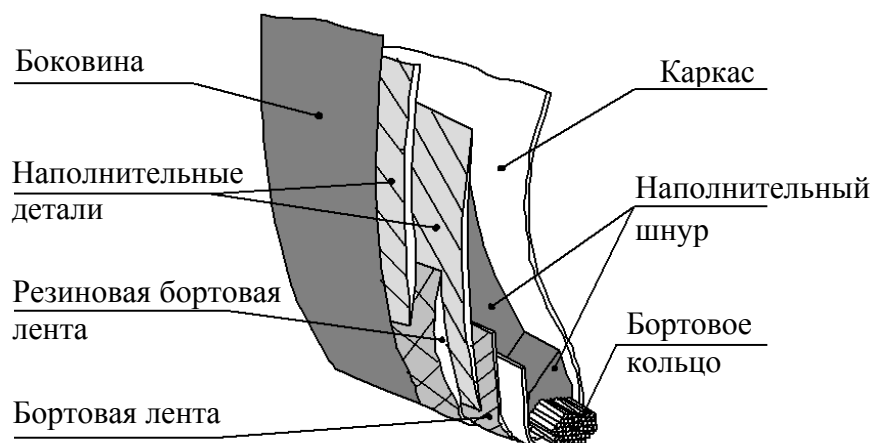


Рис. 11. Область борта покрышки

Форма бортового кольца влияет на правильность и надежность установки в целом покрышки на обод колеса. Число металлических проволок в бортовом кольце и их диаметр определяют расчетом.

Основные типы бортовых колец изображены на рис. 12.

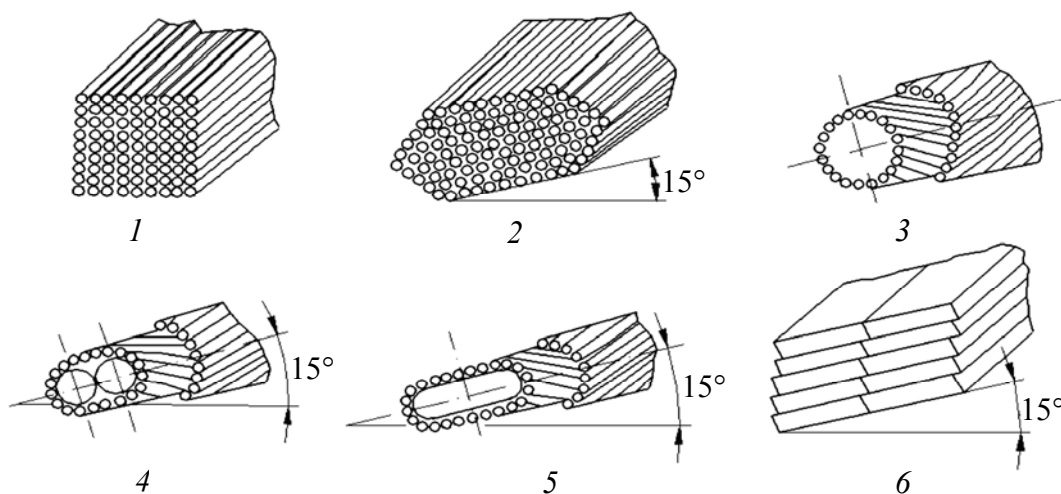


Рис. 12. Типы бортовых колец:

- 1 – четырехгранное витое; 2 – гексагональное витое;
3 – круглое сплетенное; 4 – эллиптическое сплетенное с углом 15°; 5 – связанное

Герметизирующий слой – слой резины, находящийся на внутренней поверхности покрышки и служащий для предотвращения у бескамерных шин проникновения воздуха к каркасу покрышки.

На рис. 13 представлены конструкции борта покрышек различного назначения.

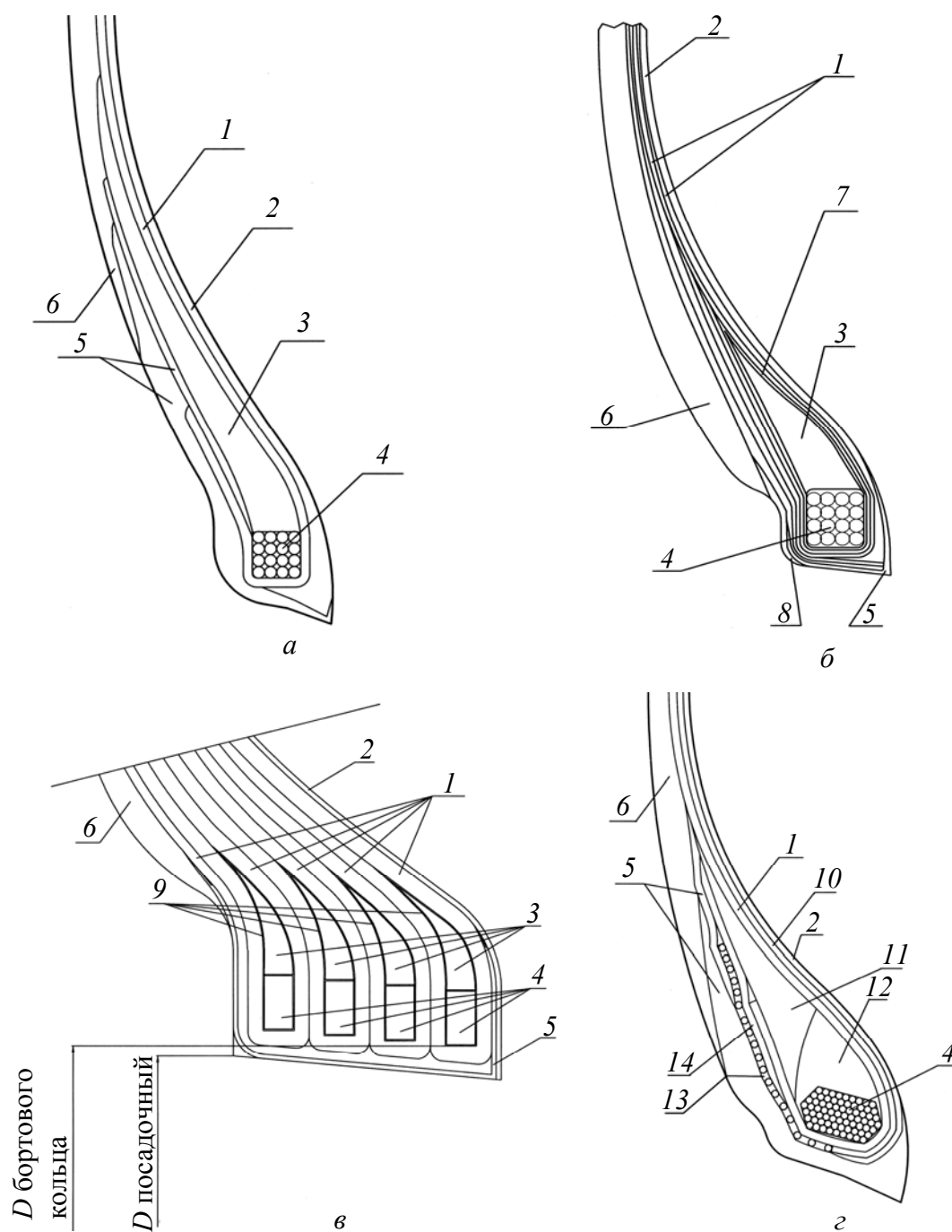


Рис. 13. Схема борта покрышек различного назначения:

а – легковая; *б* – сельскохозяйственная; *в* – сверхкрупногабаритная

диагональной конструкции; *г* – грузовая цельнометаллокордная:

- 1 – каркас; 2 – гермослой; 3 – наполнительный шнур; 4 – бортовое кольцо;
 5 – бортовая лента; 6 – боковина; 7 – крыльевая лента; 8 – усиленная деталь борта;
 9 – крыльевая текстильная лента; 10 – технологическая прослойка;
 11 – верхний наполнительный шнур; 12 – нижний наполнительный шнур;
 13 – металлокордная бортовая лента; 14 – резиновая бортовая лента

2.2. Устройство камерных и бескамерных шин

Камерная шина имеет сложную конфигурацию и состоит из основных конструктивных элементов (каркас, брекер, протектор, боковина, борт), ездовой камеры, вентиля, обода и ободной ленты (только для грузовых шин) (рис. 14).

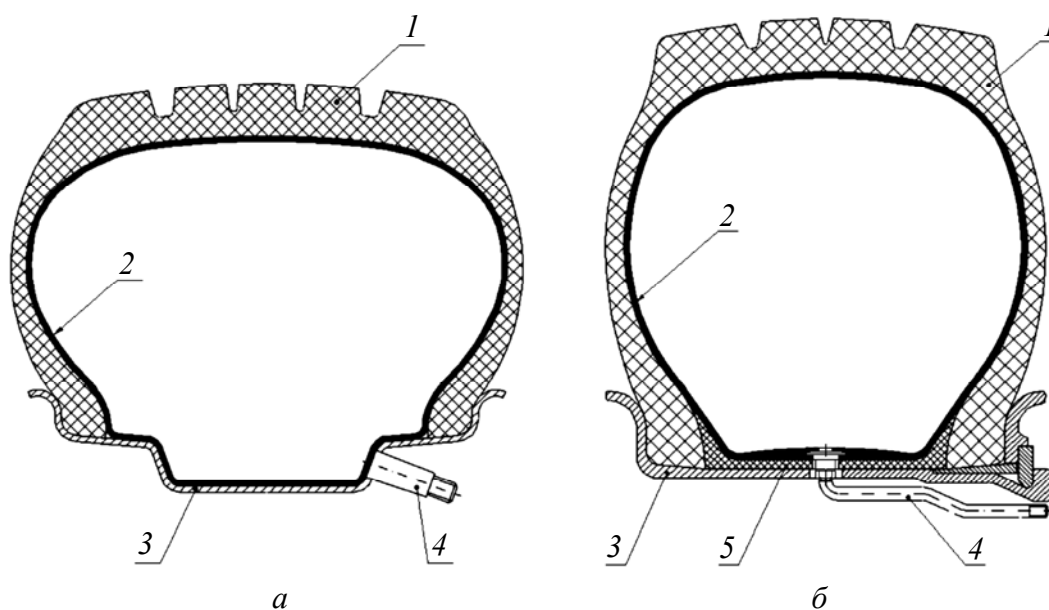


Рис. 14. Камерная шина:

а – для легковых автомобилей; *б* – для грузовых автомобилей;
1 – покрышка; 2 – ездовая камера; 3 – обод; 4 – вентиль; 5 – ободная лента

Камера представляет собой резиновую кольцевую трубку, сделанную из воздухонепроницаемой эластичной резины. Она имеет вентиль, который служит для накачивания, удержания и стравливания воздуха. Размер камеры должен строго соответствовать размеру и форме покрышки. Толщина стенки по поперечному сечению камеры обычно неодинакова. Она больше у беговой дорожки по сравнению с приободной частью. Камера не могла бы сама выдержать внутреннее давление, не будь она ограничена покрышкой. При качении колеса в зоне контакта шины с дорогой камера испытывает знакопеременную деформацию и работает в тяжелых температурных условиях. Резина для камер должна быть воздухонепроницаема, эластична, прочна, хорошо сопротивляться проколам и раздирам, быть стойкой к тепловому старению, не менять свои

размеры и физико-механические свойства в широком диапазоне температур окружающего воздуха.

Бескамерная шина по внешнему виду почти ничем не отличается от стандартной автомобильной шины (рис. 15). Отличием является герметизирующий (воздухонепроницаемый) слой по внутренней поверхности шины и уплотнительный слой по наружной поверхности бортов. Бескамерные шины имеют несколько меньший посадочный диаметр относительно посадочного диаметра обода, специальную форму и конструкцию борта, обеспечивающую более плотную посадку шины на обод колеса при наличии давления воздуха внутри шины.

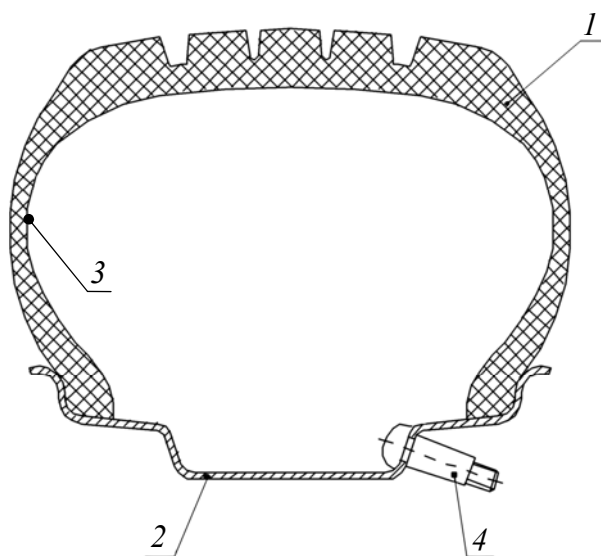


Рис. 15. Бескамерная шина:
1 – покрышка; 2 – обод; 3 – гермослой; 4 – вентиль

Корд для шин изготавливают в основном из вискозы, капрона и нейлона. Бескамерные шины имеют герметичные ободья. Вентиль с уплотнительными резиновыми шайбами крепится непосредственно в обод колеса. Особенностью бескамерных шин является то, что каркас их постоянно находится под действием сжатого воздуха, который во время эксплуатации просачивается через герметизирующий слой шины. В этих случаях воздух в каркасе шины создает между отдельными элементами ее напряжения и вызывает расслоение. Поэтому для исключения этого вредного явления в бескамерных шинах предусмотрены специальные дренажные отверстия, через которые воздух, проникающий в каркас, отводится наружу.

Основным преимуществом бескамерных шин является повышенная безопасность движения автомобиля на высоких скоростях по сравнению с камерными шинами. Бескамерная шина состоит из одной монолитной части, поэтому воздух из полости может выходить наружу только через отверстие прокола, а внутреннее давление при этом снижается медленно, так что водитель имеет возможность двигаться с поврежденной шиной до места ремонта. Следует отметить лучший отвод тепла непосредственно через металлический обод бескамерной шины, отсутствие трения между покрышкой и камерой и вследствие этого – более низкий температурный режим работающей шины.

Бескамерные шины характеризуются также большей устойчивостью внутреннего давления воздуха, которая объясняется тем, что воздух с большим трудом просачивается через нерастянутый воздухонепроницаемый слой бескамерной шины, чем через растянутые стенки камеры. Бескамерные шины при эксплуатации меньше подвергаются демонтажу и монтажу, так как мелкие повреждения можно ремонтировать, не снимая шину с обода.

Бескамерные шины, взаимозаменяемые с камерными покрышками, могут монтироваться на стандартных глубоких ободах, если они герметичны, т. е. не имеют вмятин и повреждений. Гарантийные нормы пробега бескамерных шин те же, что и камерных, однако опыт эксплуатации бескамерных шин показывает, что долговечность их на 20% выше долговечности камерных шин, что объясняется лучшим температурным режимом работы шин и постоянством внутреннего давления в них воздуха. Однако для их производства необходимы высококачественные материалы, и они менее технологичны. Эксплуатация бескамерных шин требует высокой технической культуры.

Основными преимуществами бескамерных шин по сравнению с камерными являются:

- повышенная надежность из-за отсутствия вероятности быстрой разгерметизации, что улучшает безопасность движения на высоких скоростях;
- меньшие масса и момент инерции;
- уменьшение на 50–70% простоев автомобиля в пути, так как мелкие проколы можно ремонтировать специальной пастой, не снимая шину с колеса;

– больший на 10–12% пробег, что достигается лучшим температурным режимом за счет усиленной теплопередачи с шины на обод и устойчивости внутреннего давления воздуха в шине, а также отсутствия трения между покрышкой и камерой.

В то же время применение бескамерных шин требует аккуратного выполнения монтажно-демонтажных работ. Повреждение бортовых краев особенно стальных, может привести к разгерметизации бескамерной шины. Ремонт шины при ее повреждении должны заниматься специалисты на предназначенном для этого оборудовании.

При потере давления нельзя двигаться на спущенном колесе т. к. это приведет к разрушению герметического слоя.

Камера в бескамерную шину не вставляется. На первый взгляд как бы усиливается прочность шины, но на самом деле между камерой и гермослоем образуется воздушная подушка, способствующая его разрушению. При увеличении нагрузки на колесо (например, резкий поворот) может произойти разрыв колеса.

2.3. Основные типы покрышек по конструкции

По типу конструкции покрышки подразделяются на покрышки диагональной и радиальной конструкции.

2.3.1. Покрышка диагональной конструкции

Каркас состоит из слоев корда, кордные нити отдельных слоев перекрещиваются между собой под углом от 45 до 60° к центральной плоскости протектора (рис. 16). Он может быть дополнен бреккером малой прочности, который не переносит нагрузку на шину, а только укрепляет область каркаса шины.

Покрышка диагональной конструкции (покрышка «Д») имеет жесткую боковину и гибкую протекторную часть. В сравнении с конструкцией радиальной покрышки у нее более высокое сопротивление качению и связанное с этим теплообразование, а также повышенное истирание протектора, которое влечет за собой снижение срока службы.

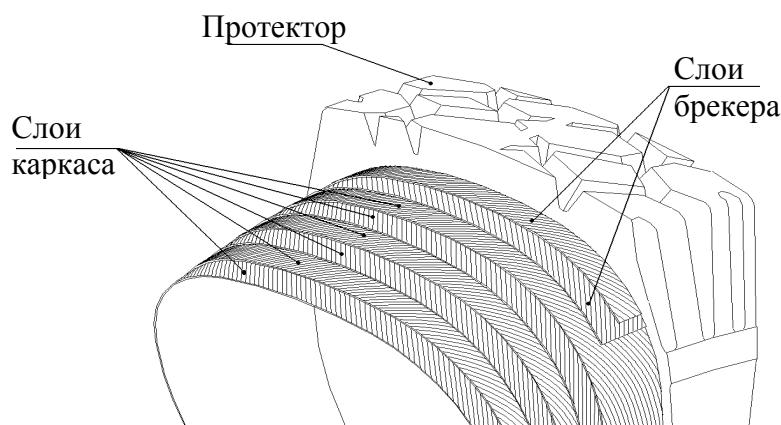


Рис. 16. Покрышка диагональной конструкции

Следует отметить, что у таких шин имеются свои достоинства:

- более простая конструкция, а следовательно, меньшая цена и сложность ремонта;
- более высокая прочность боковых стенок (боковины);
- лучшее смягчение ударных нагрузок, передаваемых на автомобиль, при движении по дорогам с мелкими выбоинами, при переезде швов дорожного покрытия.

Однако имеется и ряд недостатков: так, при изменении нагрузки при колебаниях во время движения протектор подвергается повышенной деформации («смятию»), в результате чего канавки рисунка сжимаются, а выступы проскальзывают по опорной поверхности; покрышки «Д» по своим эксплуатационным характеристикам уступают шинам радиальной конструкции (покрышки «Р»).

2.3.2. Покрышка радиальной конструкции

Исследования в области механики пневматической шины показали, что напряжения в нитях корда снижаются при уменьшении угла наклона нитей в каркасе. Это обусловило преимущества каркаса с радиальным расположением нитей корда, который может обладать той же прочностью, что и в диагональной покрышке, но при меньшем числе слоев, причем последнее не должно быть обязательно четным (рис. 17).

Каркас с радиальным расположением нитей (нити корда расположены по отношению к центральной плоскости протектора под углом $0-5^\circ$) обладает меньшей окружной жесткостью и для

повышения прочности покрышки в целом он армирован жестким, практически нерастяжимым брекером, который называют брекерным поясом. Каркас упрочнен в протекторной зоне покрышки брекером, который воспринимает все нагрузки вдоль окружности.

Жесткий брекерный пояс способствует более высокому сцеплению шины с дорогой за счет увеличения площади поверхности контакта беговой дорожки протектора с дорогой.

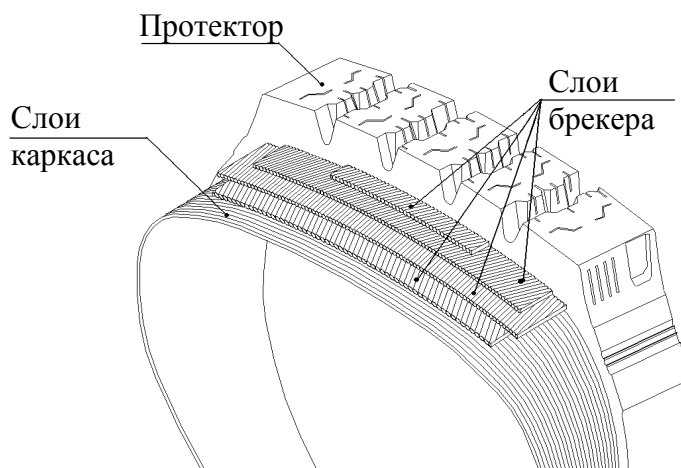


Рис. 17. Покрышка радиальной конструкции

При этом контактное давление снижается и распределяется более равномерно, что приводит к уменьшению проскальзывания элементов протектора относительно поверхности дороги. Как следствие, уменьшается истирание покрышки и повышается боковая устойчивость шины (примерно на 25%). Относительная жесткость брекера дает большую свободу при разработке рисунка протектора и снижает опасность растрескивания по канавкам рисунка протектора, встречающегося в покрышках диагональной конструкции.

Брекерный пояс из металлического корда ввиду большой прочности и жесткости последнего содержит значительно меньшее количество слоев, чем пояс из текстильного корда. Поэтому в шинах грузовых автомобилей больших размеров наиболее рационально использовать металлический корд, так как количество слоев из текстильного корда было бы очень большим. В шинах для автомобилей малой грузоподъемности брекер возможно изготавливать как из текстильного, так и металлического корда. Однако текстильный корд должен обладать малой величиной относительного удлинения и высоким сопротивлением изнашиваемости в

процессе работы шины. В противном случае, вследствие увеличения геометрических параметров шины при ее эксплуатации и возникновения напряжений в резине, появляются трещины, особенно в надбортовой части и вблизи плечевой зоны.

Снижение числа слоев каркаса в покрышках радиального типа и уменьшение проскальзывания в зоне контакта с дорогой приводит к меньшему теплообразованию, что также способствует большей износостойкости шин и позволяет повысить скорость движения. Благодаря всем этим достоинствам покрышки «Р» имеют ходимость в 1,5–2 раза более высокую, чем диагональные, а более низкое сопротивление качению (на 20–25%) делает радиальные шины более экономичными при эксплуатации (расход горючего снижается на 5–8%).

Боковины шин радиальной конструкции изготавливают из резины с особо высокой усталостной выносливостью и повышенной стойкостью к старению.

Шины радиальной конструкции (шина «Р») обладают рядом преимуществ:

- нити каркаса воспринимают только радиальные нагрузки. А это, в сравнении с диагональными шинами, значительно уменьшает напряженность нитей и позволяет при одной и той же нагрузке изготавливать каркас радиальных шин с меньшей слоистостью (в два раза), что обеспечивает лучший отвод теплоты;

- число слоев в каркасе радиальных шин может быть нечетным, так как каждый слой корда из-за радиального направления нитей работает самостоятельно;

- шины «Р» по сравнению с диагональными имеют лучшее сцепление с дорожной поверхностью, что достигается за счет большей площади контакта с опорной поверхностью и применения брекера из сверхмодульных типов корда (металлокорда и др.);

- у шин «Р» жесткий брекер снижает деформацию протектора, и пятно контакта практически не изменяется по форме. Поэтому объем канавки не уменьшается, а выступы протектора не проскальзывают;

- шины радиальной конструкции по сравнению с диагональными характеризуются большей несущей способностью (на 15–20%), повышенной максимальной скоростью, меньшей массой (на 3–4%), большей радиальной эластичностью (на 20–30%), меньшим нагревом (на 20–30%);

– шины «Р» повышают безопасность эксплуатации автомобилей за счет улучшения устойчивости и управляемости при движении, повышенного сцепления на дорогах с сухим и мокрым покрытиями, уменьшения риска механических повреждений и проколов в зоне протектора.

Однако радиальные шины имеют большую стоимость и повышенную боковую эластичность. Радиальное расположение нитей корда снижает прочность боковины стенки покрышки. В тяжелых дорожных условиях при движении по глубокой колее, особенно при пониженном давлении воздуха в шинах, при ударах о бордюрные камни боковины радиальных шин, по сравнению с диагональными, чаще подвергаются повреждениям.

2.4. Грузовые шины

К современным грузовым шинам предъявляются высокие требования по грузоподъемности, долговечности, массе, проходимости, ходовым качествам, надежности и комфортабельности. Количественная характеристика и значение каждого из перечисленных основных требований определяются типом, назначением и условиями эксплуатации грузовых автомобилей, для которых предназначена шина. В связи с разными условиями эксплуатации протекторы грузовых шин имеют различные рисунки. Дорожные рисунки протектора грузовых шин образованы, как правило, продольными ребрами, разделенными продольными канавками, насыщенность рисунка составляет 65–85%. Учитывая меньшие скорости движения грузовых автомобилей, несколько снижают требования в отношении повышения сцепления шин с мокрой дорогой.

На грузовых шинах, предназначенных для эксплуатации в смешанных дорожных условиях, применяют универсальные рисунки протектора. Насыщенность универсального рисунка элементами несколько меньше, чем дорожного (50–70%). Универсальный рисунок менее износостоек на дорогах с твердым покрытием, но превосходит дорожный рисунок по тяговым качествам и надежности работы на грунтовых дорогах.

Для повышения проходимости автомобилей, работающих преимущественно в условиях бездорожья, применяют грузовые шины с рисунком протектора повышенной проходимости, который име-

ет несколько большую, по сравнению с дорожным и универсальным, глубину и значительно меньшую насыщенность (35–55%).

Для автомобилей, работающих на скалистых грунтах и в каменных карьерах, применяют шины с карьерными рисунками, которые состоят из массивных грунтозацепов, разделенных узкими канавками.

В настоящее время грузовые шины монтируются на уширенные ободья, что повышает грузоподъемность и долговечность шин. Дальнейший рост грузоподъемности грузовых шин при одновременном увеличении скоростей движения стал возможным благодаря применению высокопрочных кордов, что привело к уменьшению числа слоев в каркасе и тем самым к снижению теплообразования в шинах. Это позволило применить износостойкие протекторы из резины на основе новых СК и увеличить глубину рисунка протектора, а значит, повысить ходимость шин.

Применение на грузовых автомобилях шин радиальной конструкции позволяет повысить грузоподъемность. Кроме того, возросла в 1,5–2 раза долговечность шин, снизились потери на качение, улучшилось сцепление с дорогой. Грузовые шины «Р» выпускаются целиком из металлокорда, комбинированными (каркас текстильный, брекерный пояс металлокордный) и целиком из текстильного корда.

Для городских автобусов применяют шины «Р» с утолщенной боковиной, защищающей тонкий каркас от повреждений о бордюрные камни тротуаров. Под боковиной расположен специальный контрольный слой резины, имеющий цветовую окраску. При обнажении этого слоя, что указывает на опасность повреждения корда, шина должна быть перевернута на ободу истертой боковиной к внутренней части автомобиля.

Бескамерные грузовые шины «Р» применяют на глубоком неразъемном ободе с коническими полками.

Широкопрофильные шины используют при замене сдвоенных обычных шин. Известно, что применение сдвоенных шин связано с рядом трудностей. У сдвоенных шин должны быть одинаковые радиусы качения, так как в противном случае возникает перегрузка одной из них и интенсивный неравномерный износ протектора. Во избежание этого необходимо строго следить за тем, чтобы в обеих шинах были одинаковые внутреннее давление и одинаковые рисунки протектора с одной и той же степенью износа.

Нити корда каркаса широкопрофильных шин расположены под увеличенным углом наклона, что необходимо для получения уширенной конфигурации поперечного сечения шины. Внутреннее давление воздуха несколько меньше, чем в обычных шинах. Такие шины выпускаются камерными и бескамерными.

Арочные шины имеют большую по сравнению с обычными в 2,0–2,5 раза ширину и своеобразную форму в виде арки. Отношение высоты профиля к ширине H/B у арочных шин составляет 0,35–0,50 (рис. 18).

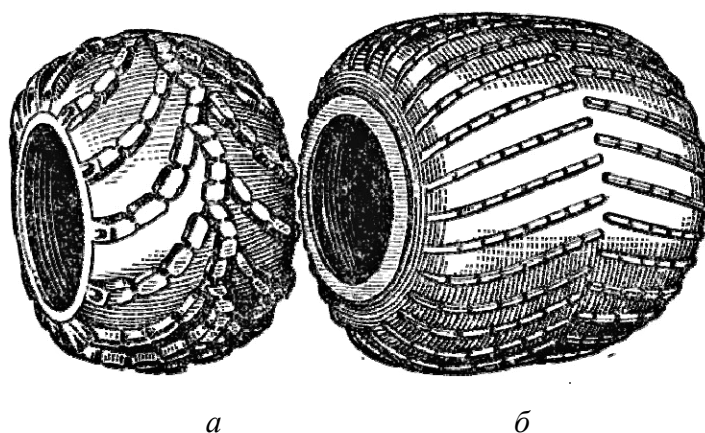


Рис. 18. Арочная шина (а) и пневмокоток (б)

При таком сочетании конструктивных параметров площадь отпечатка арочной шины на дороге имеет форму, близкую к кругу. По размеру она в 5–8 раз больше площади отпечатка обычной шины.

Каркас арочных шин малослойный и изготавливается обычно из полиамидного корда. Кордный брекер в арочных шинах не применяется, а между каркасом и протектором располагаются брекеры резиновые прослойки. Боковины в надбортовой части утолщаются и образуют над закраинами обода резиновые подушки, защищающие шины от повреждений. Рисунок протектора повышенной проходимости типа «косая елка» состоит из редко расположенных грунтозацепов высотой 35–40 мм, чередующихся с широкими впадинами. Такие рисунки обеспечивают хорошее сцепление с мягким грунтом и самоочищаемость.

Арочные шины, так же как и широкопрофильные, устанавливаются взамен обычных сдвоенных на заднем шасси автомобиля для эксплуатации его в условиях бездорожья. Благодаря большей площади контакта, в отличие от обычных шин, малому внутрен-

нему давлению и специальному рисунку протектора арочные шины резко повышают проходимость грузовых автомобилей. При движении по дорогам с твердым покрытием у арочных шин наблюдается интенсивный неравномерный износ протектора, повышенное сопротивление качению и значительное ухудшение динамических свойств.

Пневмокаты – это шины сверхвысокой проходимости. Они существенно отличаются от обычных шин: имеют бочкообразную форму, очень большую ширину профиля при относительно небольшом наружном и малом посадочном диаметрах. Отношение H/B лежит в пределах 0,250–0,375. Малослойный каркас в 2–4 слоя и весьма низкое внутреннее давление определяют их исключительную эластичность, обеспечивают очень малые давления на площадь контакта с дорогой и способствует тому, что пневмокаты «обтекают» дорожные неровности. Последнее обстоятельство предотвращает проколы и пробой пневмокатов при работе на каменистых дорогах.

Пневмокаты применяют на специальных машинах сверхвысокой проходимости, предназначенных для работы в условиях полного бездорожья. По проходимости эти машины приближаются к гусеничным, а в отдельных случаях даже превосходят их.

2.5. Крупногабаритные и сверхкрупногабаритные шины

Необходимость повышения производительности труда в горнорудной промышленности и гидротехническом строительстве, усиленное развитие добычи полезных ископаемых высокоэффективным открытым способом, освоение районов Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока определили пути дальнейшего развития карьерного транспорта и строительно-дорожной техники в направлении создания машин большой единичной мощности. Для обеспечения возрастающих объемов перевозок горных масс разработано семейство новых карьерных автомобилей-самосвалов и автопоездов грузоподъемностью 75, 110, 120 и 180 т, объединенных под общим названием карьерных автосамосвалов особо большой грузоподъемности. Они обеспечивают более чем в 2,2–3,5 раза большую производительность, снижение себестоимости перевозок в сравнении с автосамосвалами грузоподъемностью 27 и 45 т.

Шины для землеройно-транспортных машин (автосамосвалов, тягачей, лесовозов, скреперов, автогрейдеров, грейдер-элеваторов и др.) отличаются большими размерами, толстым до 50 мм рисунком протектора повышенной проходимости. Для тяжелых условий работы строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин применяют крупногабаритные шины (КГШ) радиальной конструкции. Для легких и средних условий эксплуатации возможно использовать шины диагональной конструкции.

Шины для землеройно-транспортных машин должны обеспечивать их высокую проходимость, выдерживать значительные нагрузки и передавать большие тяговые усилия. В связи с этим на таких машинах широко используют радиальные с регулируемым давлением широкопрофильные шины с ассиметричным рисунком протектора.

Шины для вездеходов характеризуются низким внутренним давлением (0,02 МПа), а пневмоклатки – давлением порядка 0,005 МПа. В вездеходах используются шины различных типов и размеров с внешним диаметром 0,75–3 м, причем чаще встречаются покрышки с внешним диаметром 1–1,5 м. Рисунок протектора обычно соответствует типам грунта, по которым предполагается эксплуатация вездехода.

В соответствии со сложившейся терминологией различают крупногабаритные шины для автосамосвалов большой (27–45 т) грузоподъемности и сверхкрупногабаритные (СКГШ) – для автосамосвалов особо большой грузоподъемности (от 75 т) и выше.

КГШ, работающие при скоростях до 50 км/ч, широко применяют для строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин. В зависимости от назначения и условий эксплуатации они могут иметь дорожный, повышенной проходимости, или карьерный рисунок протектора.

Особенности эксплуатации СКГШ определяют специфические требования к конструкции шины в целом, построению отдельных элементов, применяемым материалам и технологическим процессам их изготовления. Высокая нагруженность СКГШ требует большой нормы слойности каркаса (48–68), что наряду со значительными массивами протектора определяет большие сечения покрышек, ухудшающие теплоотвод и способствующие повышенному теплообразованию и высоким рабочим температурам.

Для армирования СКГШ применяют высокопрочный корд повышенной жесткости и теплостойкости, обладающий малой тем-

пературной усадкой, чем обеспечивается минимальная величина изнашиваемости и предупреждение дополнительных деформаций элементов, приводящих к снижению стойкости против порезов и пробоев шины. Этим требованиям в наибольшей степени отвечает анидный корд.

Важное значение для обеспечения высокой работоспособности каркаса и эффективного использования армирующих материалов имеет равномерное или изменяющееся по определенному закону распределение нагрузки по слоям каркаса от действия внутреннего давления в шине.

Жесткость эксплуатации СКГШ предъявляет повышенные требования к протектору. Необходимость повышения ресурса по износу диктует применение глубоких рисунков при высокой насыщенности. Однако противоречивость этих факторов с необходимостью обеспечить допустимые рабочие температуры в шинах ставит задачу многофакторной оптимизации параметров протектора.

Высокая стойкость протектора к воздействию дорожных покрытий, острых кусков взорванной горной массы в забоях и отвалах, близкое к равномерному распределению температур по корону шины достигаются соответствующим выбором ее профиля.

Резина протектора СКГШ должна обладать высоким сопротивлением к воздействию локальных нагрузок, малым теплообразованием. Наиболее удовлетворяющим этим противоречивым требованиям решением является применение резин различных типов для беговой части и подканавочного слоя протектора. Крупногабаритные пневматические шины со специальным рисунком устанавливают на карьерных самосвалах отечественного и зарубежного производства.

Важной особенностью бескамерных КГШ является надежность герметизации внутренней поверхности покрышки с целью сведения к минимуму диффузии воздуха из внутреннего объема шины в структуру каркаса. В шинах применяют гермослой, состоящий из 2–3 слоев толщиной 1,3 мм каландрованной резины на основе комбинации натурального и хлорбутилового каучуков, с которым сдублирован слой из резины на основе натурального каучука.

Современные крупногабаритные бескамерные шины имеют гермослой шириной более 3000 мм. При сборке таких покрышек гермослой накладывают на сборочный барабан из нескольких по ширине частей, что снижает производительность труда на участке сборки. Появляется большое количество стыков, являющихся по-

тенциальным источником дефектов гермослоя. Разработана новая конструкция гермослоя неограниченной ширины – армированный гермослой, состоящий из обрезаемого каркасной резиновой смесью разреженного корда (армированный слой), расположенного со стороны каркаса, и сдублированной с ним методом горячего сквижджения газонепроницаемой резиновой прослойки. Такая конструкция гермослоя позволяет предотвратить его отслоение в процессе эксплуатации шины за счет идентичных физико-механических показателей обрезаемых слоев корда и повышения прочности сцепления элементов гермослоя.

К особенностям бескамерных СКГШ следует отнести также дренажные отверстия, выполненные методом сверлений в надбортовой и плечевой зонах и по боковине непосредственно после выемки из пресс-формы с целью снижения вероятности образования дополнительных напряжений и очагов расслоений из-за воздуха, проникающего через гермослой, а также газов, выделяющихся в шине в процессе вулканизации.

Совершенствование и разработка новых шин для специализированного карьерного автомобильного транспорта обусловлены нуждами горнодобывающих и сырьевых отраслей народного хозяйства, научно-технический прогресс в которых связан с дальнейшим расширением наиболее эффективного открытого способа добычи полезных ископаемых.

Эксплуатация шин для автосамосвалов большой и особо большой грузоподъемности осуществляется в соответствии со специальными правилами, регламентирующими порядок погрузочно-разгрузочных работ, транспортирования, хранения, монтажа, демонтажа и т. д. Превышение допустимой радиальной нагрузки на шину снижает ресурс вследствие тепловых и деформационных разрушений, интенсивного износа протектора, увеличения числа и размеров механических повреждений. В процессе эксплуатации шины при давлениях, меньше нормативных, возможно отслоение протектора, расслоение и последующее разрушение каркаса. Эксплуатация при повышенных давлениях вызывает усиленный износ экваториальной части протектора вследствие уменьшения площади пятна контакта с дорогой, разрушение (взрыв) каркаса из-за механических повреждений.

Одним из важных факторов обеспечения работоспособности и долговечности бескамерных КГШ и СКГШ является защита бор-

тов. Для обеспечения грамотного выполнения транспортных операций каждая бескамерная КГШ и СКГШ должна укомплектовываться специальной инструкцией по транспортированию. При работе с такими шинами, т. е. при транспортных операциях, в процессе погрузочно-разгрузочных работ должны применяться специальные чалки из эластичных материалов (капроновая плетеная лента, вулканизированная лента из капронового обрешиненного корда и т. п.).

2.6. Шины для сельскохозяйственной техники

Особенности конструкций шин для тракторов, сельскохозяйственных машин и орудий зависят от специфики условий эксплуатации. Характерным является работа при повышенных значениях относительного прогиба для обеспечения развитого пятна контакта. Основное отличие от КГШ другой техники – это сравнительно малослойный каркас и протектор особой конструкции.

ОАО «Белшина» выпускает шины для тракторов, прицепов, комбайнов, сельскохозяйственных машин и орудий, предназначенных для механизации выращивания и уборки сельскохозяйственных культур, для проведения послеуборочных операций.

Сельскохозяйственные шины различают по назначению, режимам работы и конструктивным особенностям. По назначению и условиям эксплуатации различают шины для колесных тракторов, тракторных прицепов, сезонных машин и орудий, специфических условий эксплуатации. По режимам работы их подразделяют на шины ведущих, направляющих и несущих колес.

Шины ведущих колес предназначаются для преобразования крутящего момента в тяговое усилие и применяются на ведущих осях машин. Эти шины испытывают значительные тяговые усилия, должны обладать высокими сцепными качествами в продольном направлении, иметь хорошо развитый контакт с опорной поверхностью.

Шины направляющих колес, устанавливаемые на управляемых ведомых колесах – конечное исполнительное звено, задающее движение машины по требуемой траектории. Для них требуется повышенное сцепление в поперечном направлении. Тип рисунка протектора – направляющие ребра или универсальный. В случае, если

управляемые колеса имеют привод, то на них устанавливают, как правило, шины с рисунком протектора повышенной проходимости.

Шины несущих колес применяют на агрегатируемой технике (тракторных прицепах, прицепных сельскохозяйственных машинах и орудиях) в качестве передвижных опор.

Внутреннее давление в этих шинах несколько больше, чем в шинах ведущих и направляющих колес. Соответственно больше и их грузоподъемность. По размерам и конструктивным соотношениям шины несущих колес аналогичны обычным автомобильным. Эти шины не передают крутящего момента и поэтому снабжены дорожным рисунком протектора, состоящим в большинстве случаев из окранных ребер небольшой высоты и узких продольных канавок.

На серийной сельскохозяйственной технике применяются шины с внутренним давлением: 0,12–0,20 МПа на ведущих и 0,17–0,25 МПа на направляющих колесах тракторов; 0,35–0,37 МПа на тракторных прицепах; 0,25–0,30 на комбайнах, машинах и орудиях.

Характерной особенностью шин ведущих колес является большой наружный диаметр, низкое внутреннее давление и наличие рисунка повышенной проходимости, например редко расположенных грунтозацепов.

Насыщенность рисунка протектора этих шин составляет 25–35%, высота грунтозацепов 35–55 мм. Характерная особенность рисунка – наличие хорошо развитых грунтозацепов, обеспечивающих высокие сцепные свойства с деформируемыми грунтами.

Наибольшее распространение получили конструкции протекторов высокой проходимости с открытыми каналами между грунтозацепами, не соединяющимися в центре беговой дорожки. Это обеспечивает повышенную эластичность данной зоны покрышки, что в целом благоприятно сказывается на очищаемости шины, ее сцеплении с поверхностью. Повышению эластичности беговой дорожки и получению более развитого контакта способствует расчленение самих грунтозацепов поперечными канавками. Для шин специальных конструкций, работающих на переувлажненных почвах, высота грунтозацепов достигает 80–90 мм при насыщенности рисунка протектора 20% и менее. Для широкопрофильных шин тракторных прицепов эффективно применение рисунков с поперечным расчленением протектора.

На ведущих колесах тракторов нашли широкое распространение шины «Р», где их применение наиболее эффективно. Шины «Д»

применяют на сезонной сельскохозяйственной технике, тракторных прицепах, тракторах промышленной, лесной и некоторых других модификаций. На сельскохозяйственной технике широко применяют широкопрофильные шины, что связано с повышением грузоподъемности шин при снижении давления на почву.

Основными эксплуатационными характеристиками сельскохозяйственных шин являются грузоподъемность, допустимая скорость, тягово-сцепные качества, проходимость на различных грунтах, давление на почву, самоочищаемость рисунка протектора, способность противостоять механическим повреждениям и долговечность. В зависимости от условий работы требования к конструкции шин существенно различаются.

Для работы на мягком грунте, стерне шины должны обеспечить трактору максимальные тягово-сцепные показатели, хорошую самоочищаемость, малое буксование и давление на почву, малую глубину следа. Это может быть достигнуто применением эластичных широкопрофильных шин с малым числом слоев в каркасе, с редкими высокими (50–70 мм) грунтозацепами. Но такие шины не пригодны для эксплуатации на грунтовых и, особенно, на усовершенствованных дорогах из-за большой интенсивности износа протектора. Скорость износа увеличивается в 3–3,5 раза за счет малой площади контакта с дорогой, высокого давления на грунтозацепы и повышенного проскальзывания их относительно дороги. Кроме того, при низком внутреннем давлении в шине (0,17–0,20 МПа) на транспортных работах резинокордный материал каркаса под грунтозацепами подвергается большим местным деформациям, что приводит к разрушению каркаса.

Тракторные шины, особенно для мощных тракторов, в основном предназначены для эксплуатации только на мягком грунте. Срок службы, экономичность и сила тяги трактора зависят от внутреннего давления в шине. Считают, что чем меньше внутреннее давление в шине, тем выше сила тяги. Это справедливо только для слабонесущих болотистых почв и песка, где благодаря увеличенной площади контакта уменьшается погружение шины в грунт, повышаются проходимость и тяговая сила. Для грунтов с более высокой несущей способностью снижение или повышение внутреннего давления против рекомендуемого не позволяет достичь грунтозацепам нужного контакта с почвой из-за прогиба протектора внутрь шины или увеличения кривизны беговой дорожки.

При нормальном внутреннем давлении обеспечивается наименьшее утомление каркаса, равномерный износ протектора по беговой дорожке. Для каждой шины в процессе ее создания и испытания устанавливается оптимальное внутреннее давление, при котором эксплуатация шины наиболее экономична.

В последнее время особое внимание уделяется проблеме снижения уплотняющего воздействия шин на почву. Это обеспечивает сохранение плодородия почв и улучшение их технологических свойств, повышение проходимости техники и снижение энергетических затрат на выполнение сельскохозяйственных операций. Для снижения уплотняющего воздействия ходовых систем применяются шины большой проходимости и габаритов, сдвоенные широкопрофильные. В настоящее время ставится задача снизить давление движителей на почву при работе на полях до уровня 0,1 МПа и менее.

Для решения проблемы снижения уплотняющего воздействия на почву гораздо более эффективным является применение шин больших габаритов или установка сдвоенных колес, а также колес-танDEMов и т. п. При этом соблюдается требование по соответствию грузоподъемности шины ее внутреннему давлению, что обеспечивает допустимый уровень деформаций и сохранение необходимого ресурса шин.

Опыт эксплуатации сельскохозяйственных шин показывает, что наилучшие эксплуатационные показатели их обеспечивают радиальные шины. Шины «Р» позволяют снизить давление трактора на грунт примерно на 10–15%, повысить силу тяги на 10–12%, увеличить коэффициент полезного действия трактора на 3–5%, снизить расход горючего. Срок службы шин «Р» на 15–20% выше срока службы шин диагональной конструкции. Создан новый ассортимент шин радиальной конструкции, имеющих повышенный срок службы и улучшенные агротехнические показатели для ведущих колес массовых тракторов.

2.7. Легковые шины

Легковые шины должны отвечать требованиям надежной, комфортабельной и экономичной езды. Они должны обеспечивать статическую и динамическую прочность, высокое сцепление с до-

рожным покрытием, обладать высокой амортизационной способностью, малой силовой неоднородностью, бесшумностью и плавностью хода. Экономичность шины в процессе эксплуатации достигается снижением коэффициента сопротивления качению, повышением долговечности при эксплуатации, увеличением грузоподъемности и уменьшением массы.

Для выполнения этих требований постоянно совершенствуется конструкция шины, в частности снижается отношение высоты профиля к его ширине, в результате чего достигается меньшая масса шины, лучшая устойчивость и управляемость автомобиля. Однако при проектировании низкопрофильных шин следует предусмотреть улучшение прочностных характеристик резин и повышение прочности связи корда с резиной в брекере.

Современные конструкции шин характеризуются многообразием рисунков протектора для различных условий эксплуатации. Необходимое сцепление легковой шины с дорогой во многом достигается выбором рисунка протектора. Обводные змеевидные канавки рисунка предохраняют протектор от скольжения. Многочисленные щели и ламели оригинальной формы повышают сцепление его с мокрой дорогой, прорезая водяную пленку своими острыми краями (рис. 19).

Чтобы под давлением или на поворотах щели не закупоривались, их нередко укрепляют полукруглыми стабилизаторами. Рифленая поверхность боковой беговой части протектора способствует охлаждению покрышки в процессе эксплуатации при высоких скоростях, а скругленные кромки выступов способствуют формированию более развитого и полного контакта с дорогой.

Выступы протектора мягче контактируют с дорогой и жестче воспринимают действие внешних сил. Этому способствуют глубокие ламели в средней части выступа протектора, соединение частей каждого выступа в «ласточкин хвост», изначально притертая форма каждого выступа.

Оптимальное сочетание размеров выступов рисунка протектора, алгоритм их чередования по окружности снижают резонансные колебания выступов в широком диа-



Рис. 19. Легковая шина

пазоне скоростей качения, что способствует меньшему шумообразованию. Оптимальная геометрия внешнего профиля протектора, выполненная по гиперболической спирали, в сочетании с улучшенной резинокордной структурой поперечного сечения обеспечивает повышенную площадь контакта, оптимальную его форму и распределение удельных давлений в контакте с дорогой. Внутри резинокордной структуры шинной оболочки в процессе ее качения образуется жесткая область объемного сжатия: в боковых направлениях – из-за распрямления беговой дорожки в плоскость дороги и в вертикальном – из-за расплющивания выступов под нагрузкой. Все эксплуатационные свойства шины зависят от величины этой жесткой области: чем она больше, тем меньше эластичность протектора. В легковых шинах нового поколения область объемного сжатия сводится к минимуму, в результате существенно улучшаются все эксплуатационные свойства. Для эксплуатации в особо сложных условиях весной, осенью и зимой на грязных и заснеженных дорогах, а особенно на покрытых льдом горных дорогах предназначены так называемые шины M + S (Mud (грязь) + Snow (снег)), работающие как стандартные шины с цепями противоскольжения, действующие как лопатки или маленькие весла. Многочисленные узкие щели в выступах улучшают сцепление шины с дорогой (рис. 20).

В зимних условиях, особенно при эксплуатации на обледенелых дорогах, используются обычно шины, в протектор которых запрессованы шипы противоскольжения в количестве от 100 до 250 шт. (рис. 21). Эффективность применения шипованных шин тем выше, чем меньше коэффициент сцепления. Их недостатком является повышенный износ дорожных покрытий, увеличение опасности аквапланирования, разрушение разметки дорог.



Рис. 20. Всесезонная шина



Рис. 21. Зимняя шипованная шина

Для снижения износа дорожных покрытий рекомендуется ограничивать максимальную скорость движения автомобилей, уменьшать высоту выступающей части шипов и применять шипы из пластмасс.

Пояса открытых остроугольных выступов обеспечивают таким шинам плотное прилегание к поверхности. Глубокие змеевидные обводные канавки облегчают поддержание заданного направления на дороге, особенно с размокшей поверхностью.

В настоящее время создаются для легкогрузовых автомобилей шины с ненаправленным, направленным и ассиметричным рисунками протектора (рис. 22).

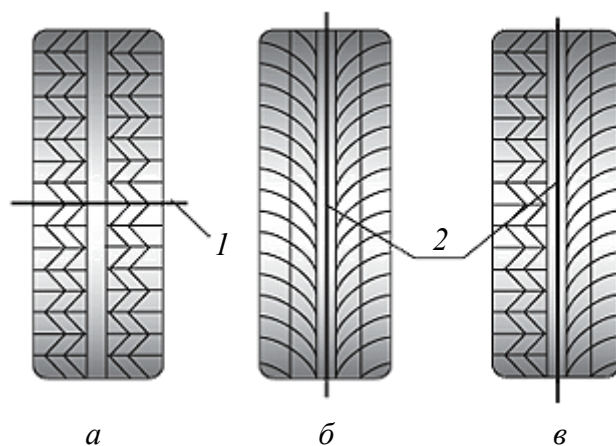


Рис. 22. Шины с рисунком протектора различного направления

Ненаправленный рисунок (а) – симметричный относительно радиальной плоскости колеса (1), проходящей через его ось вращения. Является наиболее универсальным, поэтому большая часть шин выпускается именно с этим рисунком.

Направленный рисунок (б) – симметричный относительно центральной плоскости вращения колеса (2), проходящей через середину протектора. Он обладает улучшенной способностью отвода воды из пятна контакта с дорогой и пониженной шумностью.

Ассиметричный рисунок (в) – несимметричный относительно центральной плоскости вращения колеса (2). Его используют для реализации разных свойств в одной шине. Например, наружная сторона шины лучше работает на сухой дороге, а внутренняя – на мокрой.

Ненаправленный рисунок протектора является наиболее универсальным. Шина обладает одинаковыми свойствами вне зави-

симости от направления вращения. Шины с таким рисунком, как правило, относятся к категории «бюджетных» и имеют наибольшее распространение (рис. 23).

Шины направленного вращения обладают лучшей способностью отводить воду из зоны контакта. Внешний вид «направленного» протектора современной дождевой шины представлен на фото. В зависимости от направления вращения – протектор такой шины совершенно по-разному работает в условиях, когда дорога покрыта водой (рис. 24).



Рис. 23. Шины с ненаправленным рисунком протектора



Рис. 24. Шины с направленным рисунком протектора

Если шина установлена правильно, вода, оказавшаяся в пятне контакта, не выталкивается вперед по ходу движения, а попадает в канавки и выдавливается через них наружу. Если же шина установлена неправильно, то движение воды происходит в обратную сторону. Вода собирается от краев протектора к его середине. Тем самым способствует аквапланированию даже на невысоких скоростях. Имеет значение также остаточная глубина протектора, т. е. водоотводящих канавок.

Кроме шин с направленным рисунком протектора, существуют шины с ассиметричным и с направленным ассиметричным рисунком протектора. Это значит, что протектор состоит из двух частей с разным рисунком. Такой рисунок используется для реализации различных свойств в одной шине. Например, наружная часть протектора лучше работает на сухой дороге, а внутренняя часть протектора лучше работает на мокрой. Производители шин обязательно указывают на шинах с направленным рисунком направление вращения, например, стрелкой и надписью «Rotation». А на шинах с ассиметричным рисунком обязательно указывается внешняя и внутренняя сторона покрышки. Например, «Outside» или «Side facing out» –

внешняя сторона установки шины. Соответственно «Inside» или «Side facing in» – внутренняя сторона установки шины.

В современной конструкции шины одного и того же типа рисунки протектора могут выполняться в многочисленных вариантах, причем небольшие изменения в рисунке могут приводить к изменениям работоспособности шины. Наиболее выгодную для заданных условий работы конструкцию рисунка протектора отработывают в течение ряда лет, совершенствуя его от модели к модели и видоизменяя его в соответствии с результатами испытаний и опытом эксплуатации.

Скоростные легковые шины устанавливаются на гоночных и спортивных автомобилях. Такие шины делят на три категории: для шоссейно-кольцевых, горных и трековых гонок; для рекордных заездов на короткие дистанции; для повышенных скоростей движения в обычных эксплуатационных условиях.

Работа шины при высоких скоростях связана с возникновением больших динамических нагрузок, развитием повышенных температур, деформацией отдельных элементов, увеличением потерь на качение. При этом снижаются прочность связи резина – корд, усталостная прочность материалов, долговечность шины. Особенно эти отрицательные явления обнаруживаются при приближении скорости автомобиля к критической скорости движения шины, т. е. к такой скорости, при которой возникают колебания шины с выводом ее из контакта с дорогой, так как настолько увеличивается амплитуда деформаций элементов шины. Уже при скорости 150 км/ч на поверхности шины после выхода из контакта появляется волна. При дальнейшем повышении скорости увеличиваются амплитуда колебаний и число различных волн, а также удлина волны.

Критической скоростью качения пневматической шины называется скорость, при которой за выходом шины из контакта с опорной поверхностью образуется стационарная волна. Возникновение стационарных волн на пневматических шинах сопровождается резким увеличением коэффициента сопротивления качению, перераспределением давлений в зоне контакта шины с опорой и падением долговечности шины.

Величина скорости, при которой начинается быстрый рост потерь, тем больше, чем больше внутреннее давление в шине.

Конструкция скоростной шины должна обеспечивать достаточно высокую критическую скорость, минимальные деформации

материалов, хороший теплоотвод. Кроме того, к легковым шинам предъявляются специфические требования в зависимости от условий их эксплуатации. Так, например, работа скоростной шины в условиях шоссейно-кольцевых гонок по дорогам транспортного назначения характеризуется частыми разгонами и торможениями автомобиля, крутыми его поворотами. Полная дистанция таких гонок не превышает 500 км, длина круга обычно 15–30 км, средняя скорость движения колеблется в пределах 150–200 км/ч. Поэтому шины для таких гонок, помимо высокой долговечности, должны иметь высокие показатели сцепления с дорогой, обладать повышенной износостойкостью протектора, а также обеспечивать хорошую устойчивость и управляемость автомобиля.

Шины, предназначенные для установления рекордов скорости (рекордные заезды на короткие дистанции), эксплуатируются на прямых участках дороги. При максимально возможных скоростях движения автомобиля они должны обеспечить пробег в 1–2 рекордных заезда. Поэтому главным требованием к этим шинам является обеспечение возможности движения автомобиля с наивысшей скоростью. Износостойкость протектора этих шин не имеет существенного значения.

Шины для повышенных скоростей движения автомобилей должны удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к обычным шинам. Скоростной режим движения автомобиля учитывается главным образом при выборе материалов, которые должны обладать большой температуростойкостью и низким теплообразованием.

В процессе взаимодействия протектора шины с мокрой дорогой возникает явление «всплытия» шины, и колесо работает на грани аквапланирования (рис. 25).



Рис. 25. Взаимодействие шины с мокрой поверхностью

Все начиналось с исследования процесса торможения шин на мокром покрытии колесного шасси самолетов при посадке на

взлетно-посадочные полосы, покрытые водяным слоем, где явление потери сцепления колеса наступает довольно быстро.

Обычно выделяется три характерных участка в контакте шины при скоростях, предшествующих аквапланированию. Первый участок наблюдается в передней части контакта, имеющий неразрушенный водяной слой – водяной клин. Вода не успевает отводиться в канавки протектора и в стороны. Коэффициент сцепления близок к нулю. Второй участок – переходная сторона, в которой водяной слой частично разорван, в результате чего имеется жидкое и сухое трение, а коэффициент сцепления занимает промежуточное значение между коэффициентом, соответствующим жидкому и сухому трению. На третьем участке в задней части контакта вода отсутствует, здесь имеется сухое трение. Именно в этой области реализуются силы, передаваемые от колеса к дороге.

В условиях увеличивающейся скорости автотранспорта резко повышается опасность движения вследствие выхода шин из-за пробоев и проколов. При этом происходит потеря внутреннего давления, что приводит к деформации шины, сходу бортов ее с полки обода и дальнейшее разрушение шины полками обода. Все это нарушает устойчивое движение автомобиля и ведет к аварии.

Ведутся постоянные работы по обеспечению работоспособности шины при внезапной потере внутреннего давления в ней, а также движения на частично или полностью спущенной шине в течение некоторого времени. Стремление повысить безопасность движения при выходе воздуха из шины (проколе, порезе, разрыве корда) привело к появлению ряда новых конструктивных решений.

2.8. Цельнометаллокордные шины

Увеличение выпуска покрышек радиальной конструкции – генеральное направление шинной промышленности во всех странах. Проекты вновь строящихся и реконструируемых шинных заводов предусматривают производство в основном шин этого типа. Все более широкое распространение получают покрышки «Р» с металлокордом в каркасе и брекере для автомобилей, автобусов, тракторов, строительно-дорожных машин, эксплуатируемых на дорогах с различными типами покрытий. Такие шины обеспечивают повышенные скоростные характеристики, высокую безопасность

и надежность движения, меньший расход топлива, имеют лучшую ремонтоспособность. Эти преимущества в наибольшей мере проявляются на усовершенствованных автотрассах.

Грузовые и автобусные шины с металлокордом в каркасе и брекере (ЦМК) с точки зрения современного состояния и тенденции развития шинной промышленности являются наивысшим достижением. По комплексу таких показателей, как максимальная скорость, топливная экономичность, ремонтпригодность, способность к утилизации, себестоимость производства и другие, ЦМК шины опережают все известные конструкции грузовых шин. По имеющимся данным, более 90% грузовых радиальных шин, применяемых в Европе, это ЦМК шины. В условиях рыночных отношений грузовые камерные шины комбинированной конструкции оказываются неконкурентоспособными с ЦМК шинами.

Зарубежные фирмы производят ЦМК шины, в ассортименте сверхкрупногабаритные, крупногабаритные, с регулируемым давлением и др. В условиях скоростного автомобильного транспорта при перевозках грузов и пассажиров на междугородных трассах в режиме длительного безостановочного движения ЦМК шины незаменимы. Для новых автомобилей, автобусов и троллейбусов требуются бескамерные, низкопрофильные и широкопрофильные современные шины с металлокордом в каркасе и брекере.

Применение металлокорда в каркасе грузовых шин по сравнению с шинами с текстильным кордом в каркасе позволяют: стабилизировать габариты; снизить теплообразование в процессе эксплуатации на 15–20°C; повысить грузоподъемность на 10%; увеличить скоростные характеристики; повысить полный ресурс шины с учетом многократного восстановления протектора на 70–100%. ЦМК шины пригодны к 4–5 кратному восстановлению, что в 1,7–2 раза выше, чем у шин комбинированной конструкции. Следовательно, потребности автотранспорта в шинах могут быть удовлетворены значительно меньшим (в 1,5–2 раза) объемом выпуска шин.

Повышенная износостойкость ЦМК шин, многократная ремонтпригодность и экономичность расхода топлива автотранспорта благоприятно сказывается на экологии за счет значительно уменьшения загрязнения окружающей среды выхлопными газами, пылевидными частицами резины и снижения количества свалок из непригодных к утилизации шин.

Шины выпускаются с различным посадочным диаметром: 17,5", 19,5", 22,5" и 24,5". При этом происходит постоянное снижение высоты профиля, т. е. отношение H/B уменьшается с 0,90 до 0,45 при одновременном увеличении несущей способности, скоростных характеристик, снижении расхода топлива и массы шины.

При проектировании ЦМК шин учитывают существенные отличия металлокорда как конструкционного материала по сравнению с текстильным кордом: он практически нерастяжим, имеет во много раз более высокую прочность, изгибную жесткость, усталостную выносливость, теплопроводность. Поэтому при применении в шинах однослойного каркаса из металлокорда требуется разработка новых подходов при их проектировании.

Особенности конструирования профиля ЦМК шин заключаются в том, что расчетная конфигурация средней линии каркаса совпадает со средней линией каркаса по пресс-форме и параллельна внутреннему профилю. В то же время средняя линия каркаса комбинированных шин смещена к наружной поверхности шины и непараллельна внутреннему профилю покрышки, так как в комбинированных шинах с многослойным каркасом из полиамидного корда применяется закрытая схема борта или открытая с высокими заворотами. Поэтому при накачивании ЦМК и комбинированных шин происходит различное изменение профиля.

Несовпадение конфигурации средней линии каркаса в комбинированных шинах с конфигурацией каркаса по пресс-форме, а также различное изменение профиля при накачивании у ЦМК и комбинированных шин приводит к различному выбору конфигурации профиля боковой стенки по пресс-форме, длины нити каркаса, раздвига сборочного барабана, а также проектированию бортовой дорожки в зоне кромок брекера.

Применение однослойного каркаса из металлокорда с открытой схемой борта обуславливает высокие требования к точности расположения деталей в шине, четкой симметрии заворотов слоя каркаса, определенному взаимному расположению кромок металлокордной бортовой ленты и заворота слоя каркаса.

В мировой практике в ЦМК шинах применяют навитые из одиночной проволоки кольца сложного сечения (круг, шестигранник, параллелограмм). Наполнительный шнур изготавливается из двух деталей. Применение составного наполнительного шнура, нижняя жесткая часть которого расположена в зоне контакта бор-

та и обода, а мягкая в зоне наибольшей поперечной силы, снижает начальные и дополнительные напряжения в опасных сечениях.

Особые требования предъявляются к резинам к прочностным, жесткостным, когезионным и адгезионным свойствам ЦМК шин в различных деталях: протектора, каркаса, брекера, деталей борта, гермослоя. Для ЦМК шин предпочтительно применение резин на основе натурального каучука. Особые требования, предъявляемые к равномерности и прямолинейности расположения нитей металлокорда в однослойном каркасе, обусловили обязательное применение резин на основе НК для обрезинивания металлокорда и технологической прослойки.

В бескамерных металлокордных шинах резины гермослоя и технологической прослойки должны выбираться так, чтобы они обеспечивали требуемую герметичность и не проникали между нитями металлокорда. Проникновение резины гермослоя между нитями каркаса приводит к образованию микротрещин и последующему разрушению каркаса. Указанные проблемы решаются применением хлорбутилкаучука (ХБК) в гермослое, выбором его оптимальной толщины и величины раздвига сборочного барабана при изготовлении каркасного браслета,

2.9. Основные габаритные размеры шин

К габаритным размерам шин (рис. 26) относятся:

- номинальная ширина шины – ширина шины, которая указана в обозначении размера шины и применяется для расчета размеров шины;

- ширина профиля шины (B) – расстояние между двумя плоскостями, перпендикулярными к оси вращения, которые соприкасаются с внешней поверхностью профиля ненагруженной накаченной шины без надписи, защитных поясов и выступов;

- общая ширина шины – расстояние между двумя плоскостями, перпендикулярными к оси вращения, которые соприкасаются с внешней поверхностью ненагруженной накаченной шины, включая надписи, защитные пояски и выступы;

- B_{\max} – максимальная общая ширина шины в эксплуатации – общая ширина шины, увеличенная на допускаемые величины в производстве и эксплуатации;

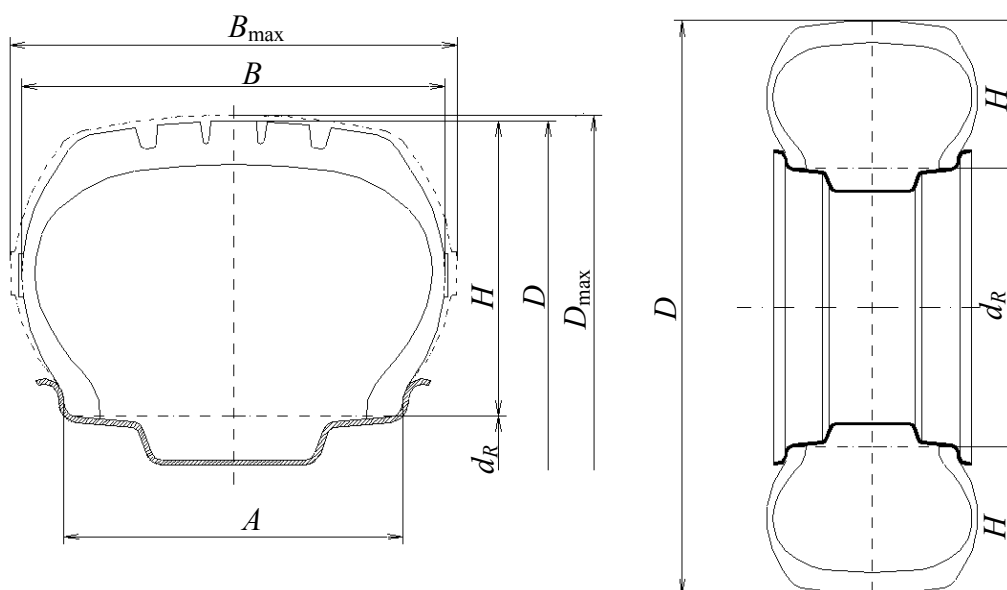


Рис. 26. Габаритные размеры шин

– H – высота профиля шины – половина разности между полным диаметром шины и номинальным диаметром обода;

– d_R – посадочный диаметр покрышки, или номинальный диаметр обода (округленный диаметр обода), указанный как стандартизированное обозначение диаметра обода, которое применяется для определения размера шины;

– D – полный диаметр шины – расстояние между двумя плоскостями, параллельными оси вращения, которые соприкасаются с внешней поверхностью ненагруженной накаченной шины;

– D_{max} – максимальный полный диаметр шины в эксплуатации – максимальный диаметр шины, увеличенный на допусковые величины в производстве и эксплуатации;

– удельное профильное число (H / B) – отношение высоты профиля шины (H) к ширине профиля шины (B), которая смонтирована на стандартный обод, умноженное на 100;

– A – измерительная ширина обода – горизонтальное расстояние между заплечиками стандартного обода.

2.10. Обозначение шин

Надпись на боковине покрышки для легкового автомобиля содержит следующие данные (рис. 27).

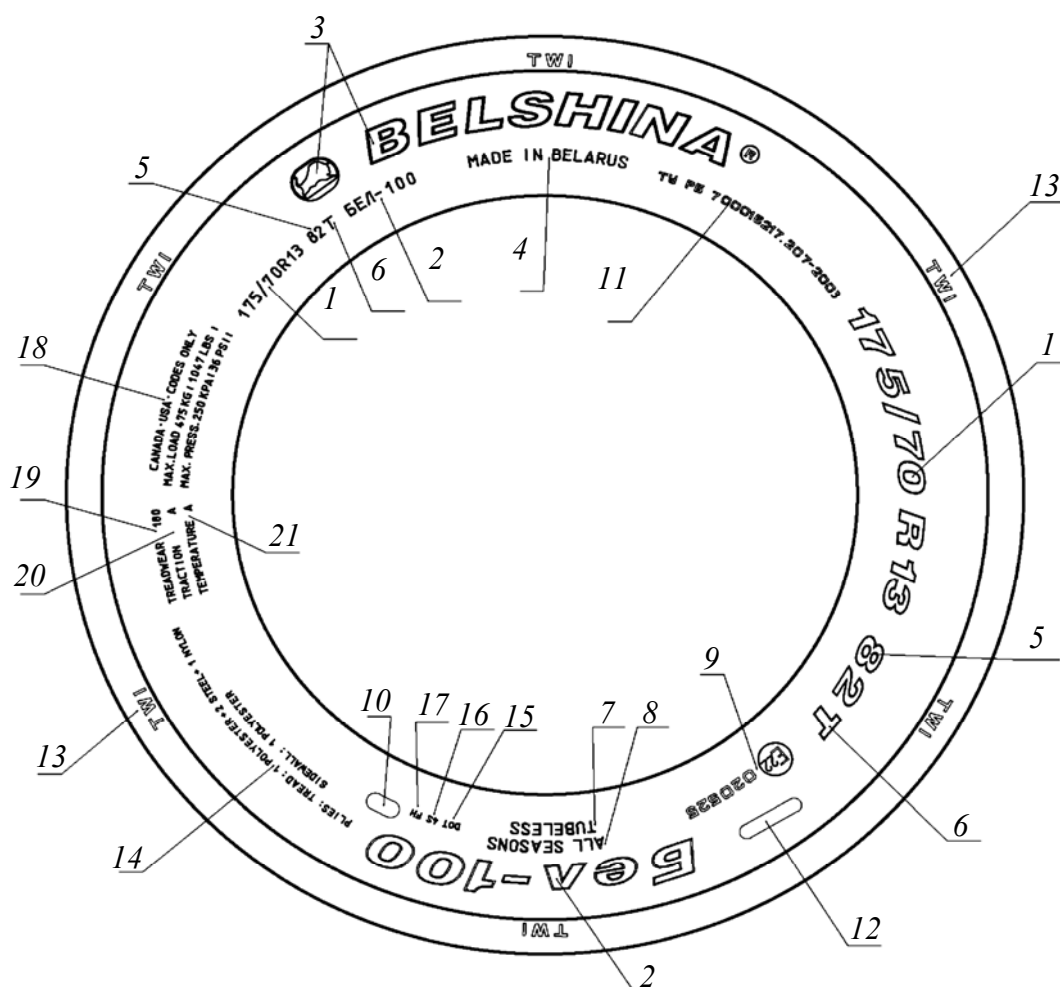


Рис. 27. Надпись на боковине покрышки для легкового автомобиля

1 – обозначение размера шины; 2 – модель шины; 3 – товарный знак предприятия-изготовителя; 4 – страна-изготовитель; 5 – индекс несущей нагрузки; 6 – категория скорости; 7 – обозначение «TUBELESS» для бескамерных шин; 8 – обозначение «ALL SEASONS» для шин с всесезонным рисунком протектора; 9 – знак Е с указанием номера официального утверждения и страны, выдавшей сертификат соответствия Правилам ЕЭК ООН; 10 – дата изготовления – 4 цифры (где 2 первые – номер недели, 2 последующие – год изготовления шины); 11 – обозначение технических условий; 12 – порядковый номер шины; 13 – обозначение месторасположения индикаторов износа; 14 – применяемые материалы и число слоев в каркасе и брекре; 15 – обозначение DOT (Department of Transportation); 16 – буквенно-цифровой код изготовителя (по регистрации департамента транспорта США); 17 – код размера шины; 18 – нормы эксплуатационных режимов для эксплуатации шины в Северной Америке; 19 – показатель степени износостойкости шины; 20 – показатель сцепления шины с влажным дорожным полотном; 21 – характеристика термостойкости шины

Примеры обозначения покрышек:

205/75R17,5

205 – ширина покрышки в миллиметрах;

75 – профильное число;

R – радиальная конструкция;

17,5 – диаметр обода в дюймах.

12,00-20

12,00 – ширина покрышки в дюймах;

20 – диаметр обода в дюймах.

12R22,5

12 – ширина покрышки в дюймах;

R – радиальная конструкция;

22,5 – диаметр обода в дюймах.

205/75 R16C

205 – ширина покрышки в миллиметрах;

75 – профильное число;

R – радиальная конструкция;

16 – диаметр обода в дюймах;

C – покрышка для легких грузовых автомобилей.

3. РАБОТА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН

3.1. Контакт шины с дорогой

При движении автомобиля шина работает в очень сложных и тяжелых условиях. В процессе качения на шину действуют различные по значению и направлению силы. К внутреннему давлению воздуха и действию массы автомобиля на шину в неподвижном состоянии при качении колеса добавляются динамические силы, а также силы, связанные с перераспределением массы автомобиля между колесами. Силы изменяют свое значение, а в ряде случаев и направление в зависимости от скорости движения и состояния дорожного покрытия, температуры окружающего воздуха, уклонов, характера поворотов дороги и т. п.

Под действием сил при качении колеса шина в различных зонах непрерывно деформируется, т. е. отдельные ее части изгибаются, сжимаются, растягиваются. При продолжительном движении шина нагревается, в результате чего в ней повышается внутреннее давление воздуха и снижается прочность ее деталей, особенно резиновых.

Действующие на колесо автомобиля силы и моменты вызывают со стороны дороги реактивные силы, которые в общем слу-

чае расположены в трех взаимно перпендикулярных направлениях и приложены к колесу в месте его контакта с основанием дороги. Эти реактивные силы получили название вертикальной, тангенциальной и боковой. Неподвижное колесо подвержено действию одной вертикальной силы G от веса автомобиля, приложенной к оси колеса и равной ей по значению реактивной силе Z со стороны дороги (рис. 28).

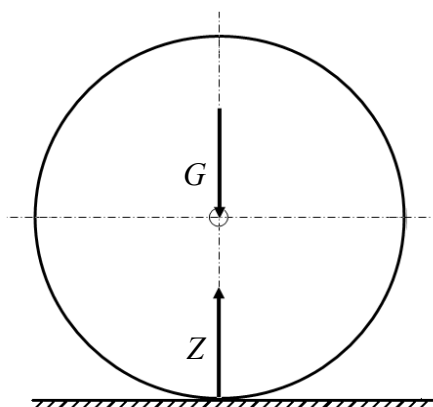


Рис. 28. Действие сил на неподвижное колесо

Вертикальная сила G , приложенная к оси колеса, и ее реакция Z со стороны дороги расположены в одной вертикальной плоскости, проходящей через ось колеса.

В случае ведомого колеса (рис. 29) толкающая сила P от автомобиля через подшипник передается на ось колеса и вызывает со стороны дороги тангенциальную реакцию X , которая приложена к поверхности колеса в зоне его контакта с дорогой и имеет противоположное толкающей силе P направление.

Качение ведомого колеса по опорной поверхности приводит к нарушению симметрии в области контакта колеса и дороги относительно вертикали, проходящей через центр колеса, и вызывает смещение реакции Z относительно этой вертикали вперед по ходу движения колеса на определенную величину a , называемую коэффициентом трения и измеряемую в единицах длины. Вертикальная реакция Z , как и при неподвижном колесе, численно равна нагрузке.

Работа ведущего колеса отличается от работы ведомого колеса тем, что к ведущему колесу прикладывается не толкающая сила, а крутящий момент M_k (рис. 30, *а*). Этот момент должен уравновесить суммарное сопротивление $P_{\text{сопр}}$ всех противодействующих движению сил (ветра, уклона дороги, трения, инерционных). В результате в контакте колеса с дорогой возникает реакция $R_x = P_{\text{сопр}}$, направленная в сторону движения.

Кроме функции ведомого и ведущего, колесо может выполнять тормозящую функцию. Работу тормозящего колеса можно сравнить с работой ведущего. Разница состоит в том, что тормозной момент, а значит, и тангенциальная реакция дороги имеют противоположное направление и определяются интенсивностью торможения (рис. 30, *б*). Коэффициент сцепления между колесом и покрытием дороги в большинстве случаев значительно меньше единицы, и, следовательно, тангенциальная сила, как правило, значительно меньше вертикальной.

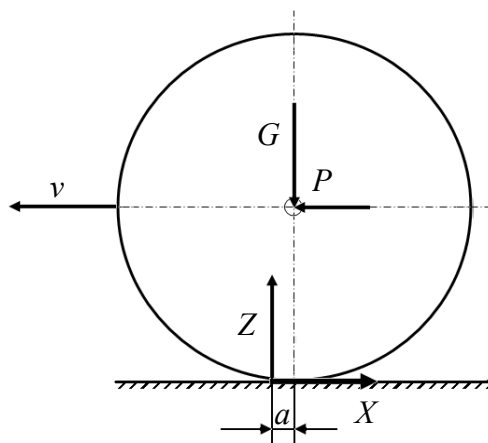


Рис. 29. Силы, действующие на ведомое колесо (v – скорость движения)

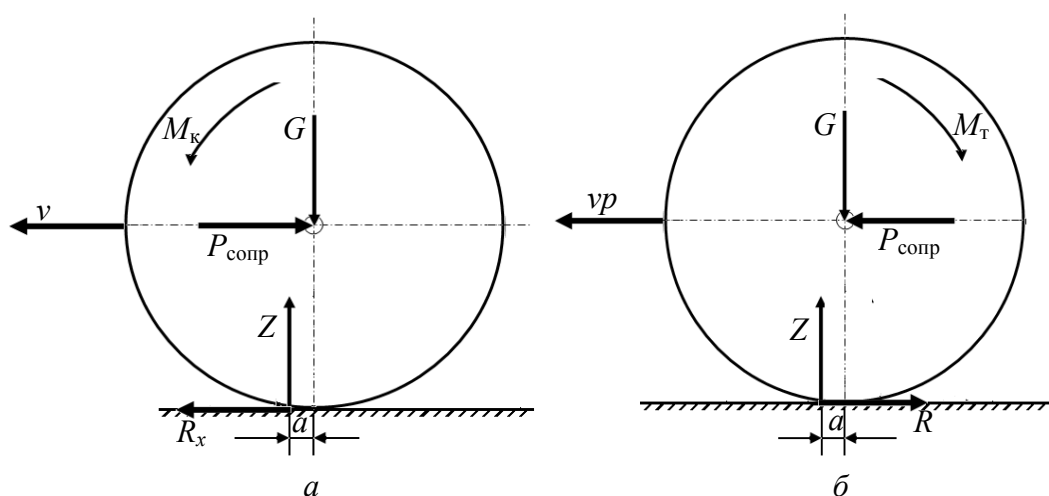
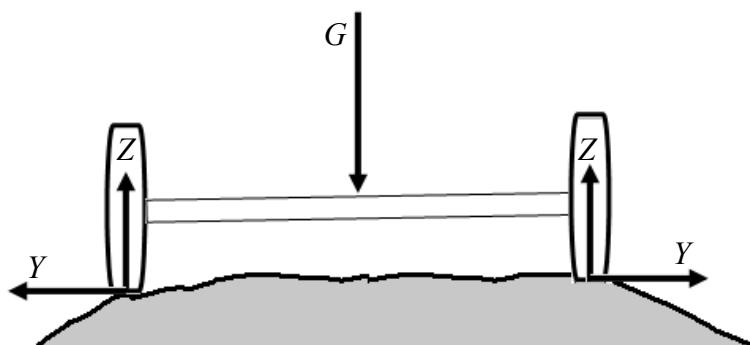


Рис. 30. Силы, действующие на ведущее (а) и тормозящее (б) колесо

Кроме перечисленных сил, колесо часто подвергается действию боковых сил и моментов, являющихся следствием действия на шасси автомобиля опрокидывающих поперечных сил, например центробежной силы на повороте или составляющей массы, обусловленной наклоном дороги. На выпуклом или вогнутом профиле дороги, а также при движении по дороге, имеющей неровности, колеса также могут испытывать действие боковых сил (рис. 31), которые при условии их равенства на левых и правых колесах по величине и противоположности по направлению будут гаситься на оси, не передаваясь на сам автомобиль. Действие на колесо боковой силы ограничено сцеплением колеса с дорогой. При движении автомобиля по выпуклому или вогнутому профилю дороги или, особенно, по дороге с неровностями боковые силы могут достигать весьма значительной величины.

Рис. 31. Действие сил на колеса
во время движения по неровному основанию

Таким образом, весь комплекс внешних нагрузок, действующих на колесо со стороны дороги, может быть представлен тремя взаимно перпендикулярными силами:

– вертикальной реакцией, значение которой обуславливается суммарной массой перевозимого груза и автомобиля. Эта нагрузка всегда действует на колесо независимо от того, движется оно или нет, работает в качестве ведомого, ведущего или тормозящего. Значение же этой нагрузки при движении может изменяться в зависимости от ускорения (замедления), продольного и поперечного профиля дороги, ее извилистости, неровностей дорожного полотна и скорости движения;

– тангенциальной реакцией, расположенной в плоскости колеса (на рис. 32 не показана) и являющейся следствием приложения к нему внешнего момента (крутящего или тормозного), толкающей силы, аэродинамического сопротивления, силы трения качения. Значение этой реакции достигает наибольшей величины обычно при торможении, однако, как правило, она ограничена коэффициентом сцепления колеса с покрытием дороги, который в большинстве случаев меньше единицы, и, следовательно, даже наибольшее значение тангенциальной реакции, как правило, меньше вертикальной реакции боковой реакции Y , которая расположена в плоскости, перпендикулярной плоскости колеса. Подобно тангенциальной, эта реакция также ограничена силой сцепления колеса с дорогой, и, следовательно, ее максимальное значение не может быть больше вертикальной силы, за исключением случаев движения по неровной дороге, глубокой колее. В этих условиях боковая реакция может значительно превосходить силу сцепления колеса с дорогой.

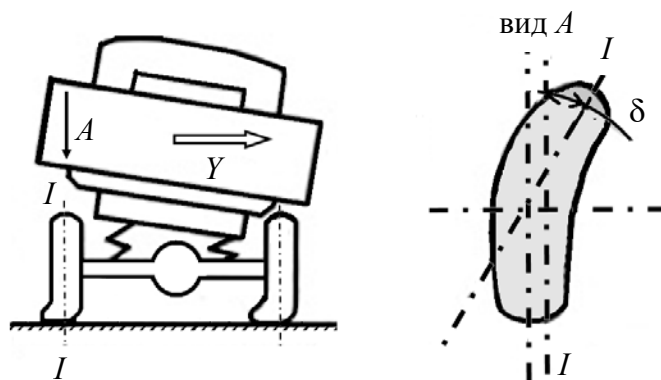


Рис. 32. Деформация шин при повороте автомобиля и соответствующее искажение пятна контакта шины с дорогой из-за увода колеса (вид A)

Особого интереса заслуживают качение наклоненного колеса и боковой увод шины. При движении автомобиля на повороте профиль эластичной шины деформируется в боковом направлении под действием центробежной силы, направленной перпендикулярно плоскости колеса (рис. 32). Вследствие боковой деформации шины колесо катится не в плоскости $I - I$, а с некоторым уводом.

3.2. Потери энергии на качение шин

Пневматическая шина благодаря наличию в ней сжатого воздуха и упругих свойств резины способна поглощать огромное количество энергии. Если шину, накачанную до определенного давления, нагрузить внешней силой, например вертикальной, а затем разгрузить, то можно заметить, что при разгрузке не вся энергия возвратится, так как часть ее, расходуемая на механическое трение в материалах шины и трение в контакте, составляет необратимые потери.

При качении колеса происходит потеря энергии на ее деформацию. Так как энергия, возвращающаяся при разгрузке шины, меньше энергии, затраченной на ее деформирование, то для поддержания равномерного качения колеса необходимо постоянно пополнять потери энергии извне, что и осуществляется приложением к оси колеса либо толкающей силы, либо крутящего момента.

Кроме сопротивлений, возникающих в результате потерь, связанных с деформацией шины, движущееся колесо испытывает сопротивление, обусловленное трением в подшипниках, а также сопротивление воздуха. Эти сопротивления, хотя и незначительны, однако тоже принадлежат к категории необратимых потерь. Если колесо движется по грунтовой дороге, то, кроме потерь, перечисленных выше, будут и потери на пластическую деформацию грунта (механическое трение между отдельными его частицами).

Потери на качение оценивают также силой сопротивления качению или мощностью потерь на него. Сопротивление качению колеса зависит от многих факторов. В значительной степени влияние на него оказывают конструкция и материалы шины, скорость движения, внешние нагрузки и дорожные условия. Потери на сопротивление качению ведомого колеса при движении по дорогам с

твердым покрытием состоят из потерь на разного рода трения в шине. На эти потери затрачивается значительная доля мощности двигателя. Энергия, поглощаемая шиной, приводит к значительному повышению ее температуры.

Сопротивление качению в сильной степени зависит от скорости качения. В реальных условиях эксплуатации сопротивление качению может возрасти более чем в 2 раза. На рис. 32 показаны результаты испытания, при нормальной нагрузке 375 кгс и соответствующем ей давлении воздуха 1,9 кг/см². Испытания проводились на барабанном стенде при установившемся тепловом состоянии шины. На рис. 33 видны три явно выраженные зоны нарастания силы сопротивления качению.

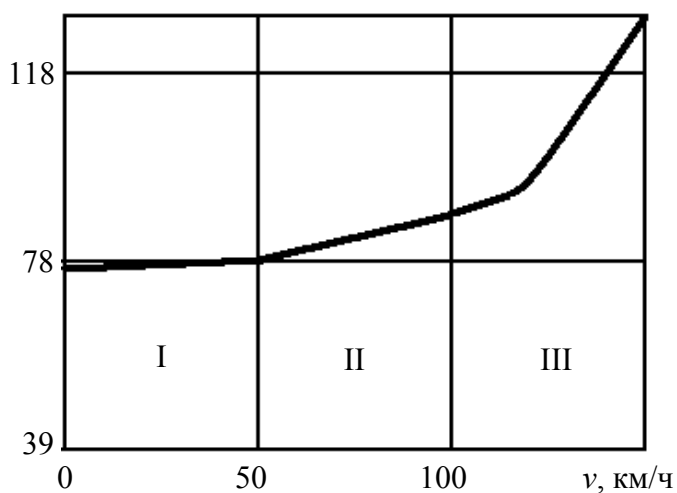


Рис. 33. Зависимость силы сопротивления качению P_k шины с металлокордным брекером от скорости v

При очень малых скоростях движения (в начале зоны I) потери мощности на качение минимальны. Эти потери обусловлены сжатием резины в зоне контакта шины с дорогой. В зоне II с увеличением скорости происходит нарастание потерь, и все больше начинают сказываться силы инерции движения колеса. Начиная с определенного значения скорости деформация элементов шины значительно возрастает, что характеризует процессы качения в зоне III.

Увеличение давления воздуха в шине приводит к снижению потерь на ее качение по твердому покрытию во всем диапазоне изменения скорости, уменьшению радиальной деформации и по-

вышению жесткости, что уменьшает тепловые потери. Надо помнить, что в процессе качения давление воздуха в шине по мере ее нагрева повышается, а сопротивление качению уменьшается. Разогрев холодной шины до установившейся рабочей температуры приводит к снижению коэффициента сопротивления качению примерно на 20%. Зависимость сопротивления качению от давления воздуха является важной характеристикой шины. Повышение нагрузки на колесо при постоянном давлении воздуха в шине увеличивает силу сопротивления качению. Однако при изменении нагрузки с 80 до 110% от номинальной коэффициент сопротивления качению практически остается постоянным. Рост нагрузки на 20% сверх максимально допустимой повышает коэффициент сопротивления качению примерно на 4%.

Сопротивление качению колеса несколько повышается с увеличением приложенного к колесу крутящего и тормозного моментов. Однако интенсивность нарастания потерь при тормозном моменте больше, чем при ведущем.

На дорогах с твердым покрытием сопротивление качению колеса во многом зависит от размеров и характера неровностей дороги. Сопротивление движению в таких условиях уменьшается с увеличением диаметра колеса.

При движении по мягкой грунтовой дороге сопротивление качению зависит от степени деформации шины и грунта. Деформация обычной шины на этих грунтах примерно на 30–50% меньше, чем на твердом покрытии. Для каждого размера шины и условий движения имеется определенное давление воздуха, обеспечивающее минимальное сопротивление движению.

3.3. Сцепные свойства шины

Способность нормально нагруженного колеса воспринимать или передавать касательные силы при взаимодействии с дорогой является одним из важнейших его качеств, способствующих движению автомобиля. Хорошее сцепление колеса с дорогой повышает управляемость, устойчивость, тормозные свойства, т. е. безопасность движения. Недостаточное сцепление, как показывает статистика, является причиной 5–10% дорожно-транспортных происшествий при движении по сухим и до 25–40% – по мокрым

дорогам. Это качество колеса и дороги принято оценивать коэффициентом сцепления f – отношением максимальной касательной реакции $R_{x(\max)}$ в зоне контакта к нормальной реакции или нагрузке G , действующей на колесо, т. е. $f = R_{x(\max)} / G$.

Различают три коэффициента сцепления: при качении колеса в плоскости вращения без буксования или юза (скольжения); при буксовании или юзе в плоскости вращения колеса; при боковом скольжении колеса.

Повышение коэффициента сцепления может быть достигнуто в ущерб другим качествам шины. Пример тому – стремление повысить сцепление с мокрой дорогой расчленением рисунка протектора, что снижает прочность элементов протектора.

С учетом климатических и дорожных условий в ряде стран установлены минимальные значения коэффициента сцепления в пределах 0,4–0,6. Коэффициент сцепления зависит от конструкции шины, внутреннего давления, нагрузки и других условий работы, но в большей степени от дорожных условий. Диапазон изменения этого коэффициента в зависимости от конструкции шины различен для разных дорожных условий. При движении по твердым, ровным, сухим дорогам коэффициенты сцепления шин с различными конструктивными элементами близки, и их абсолютные значения зависят в основном от вида и состояния дорожного покрытия, свойств протекторных резин. Рисунок протектора в этих условиях оказывает наибольшее влияние на сцепление. Увеличение насыщенности рисунка протектора обычно повышает сцепление. Влияние рисунка протектора очень велико при качении шины по гладким покрытиям. Расчленение протектора улучшает сцепление шины с мокрым покрытием благодаря лучшему вытеснению воды с площади контакта, а также благодаря повышению давления. Ускорению выхода воды с площади контакта способствуют расширение канавок, спрямление их, уменьшение ширины выступов. Сцепление улучшается при более вытянутых выступах рисунка протектора, а наименьший коэффициент сцепления наблюдается при квадратных и круглых выступах. Щелевидные канавки не имеют больших проходных сечений, но создают значительные давления на краях и как бы вытирают дорогу. При удалении влаги возникают условия сухого и полусухого трения, что резко повышает коэффициент сцепления. При снижении высоты выступов рисунка протектора удале-

ние воды из зоны контакта замедляется из-за уменьшения проходных сечений канавок и, соответственно, ухудшается сцепление шины с дорогой.

Значительное влияние на сцепление шин с мокрой дорогой оказывает также тип рисунка протектора. При продольной ориентации рисунка аквапланирование наступает при меньшей скорости и при меньшей толщине водяного клина, чем в случае поперечной ориентации рисунка протектора. Большое значение, особенно на больших скоростях, имеет толщина слоя воды на поверхности покрытия. При скорости свыше 100–120 км/ч и толщине слоя воды 2,5–3,8 мм даже неизношенный протектор с выступами полной высоты не обеспечивает отвода воды с площади контакта с дорогой (коэффициент сцепления меньше 0,1).

Шина, достаточно быстро катящаяся по «залитой» поверхности, движет впереди себя небольшой водяной клин. Удар протектора по воде в передней части контакта вызывает подъем давления в воде (называемого гидродинамическим давлением).

Если это давление становится выше, чем собственное давление шины на дорожную поверхность, то шина больше не может выталкивать воду, и она отрывается от поверхности дороги, т. е. наблюдается аквапланирование.

При движении по мягким грунтам сцепление шины зависит от поверхностного трения о грунт, сопротивления срезу грунта, защемленного во впадинах рисунка, и от глубины колеи. Большое значение для сцепления шины с дорогой имеют конструктивные параметры рисунка протектора, когда грунт неоднороден и когда в верхней части расположен более мягкий слой, а в нижней – сравнительно твердый грунт.

При движении по мягким вязким грунтам сцепление в большей мере зависит от самоочищаемости рисунка протектора, что может оцениваться скоростью вращения колеса, при которой из впадин рисунка грунт выбрасывается центробежной силой. На самоочищаемость влияют факторы, относящиеся к свойствам грунта и параметрам шины.

Распространенным в последнее время способом повышения сцепления шины зимой является применение металлических шипов. Однако на очищаемых от снега и льда дорогах эксплуатация шин с шипами нецелесообразна, здесь преимущество имеют шины с зимним рисунком протектора.

3.4. Грузоподъемность и амортизационные свойства шин

Грузоподъемность автомобиля должна соответствовать грузоподъемности его ходовой части, одним из важнейших элементов которой является шина. Под действием приложенной к колесу нормальной нагрузки шина деформируется. Это происходит при незначительном повышении внутреннего давления воздуха в шине, так как объем воздуха при деформации шины практически не изменяется. Но, несмотря на столь незначительное повышение внутреннего давления воздуха в шине, работа сжатия воздуха при ее деформации довольно значительна и составляет при номинальных нагрузке и давлении примерно 60% полной работы деформации. Остальные 40% затрачиваются на деформацию материала шины, из которых примерно треть приходится на деформацию протектора.

С увеличением нормальной нагрузки при заданном внутреннем давлении уменьшается значение силы сжатия воздуха.

Под действием нагрузки сокращается расстояние от оси колеса до дороги из-за уменьшения высоты и увеличения ширины профиля шины. Значение, на которое изменилась высота профиля шины под нагрузкой при опоре на плоскость, принято называть нормальной деформацией, а деформацию в любой точке протектора в направлении радиуса колеса – радиальной деформацией в данной точке шины.

Нормальная деформация зависит от размеров и конструкции шины, материала, из которого она изготовлена, ширины обода, твердости покрытия дороги, давления воздуха в шине, нормальной нагрузки, значений окружного и бокового усилий, приложенных к колесу. Данная деформация характеризует степень нагруженности шины, ее грузоподъемность и долговечность.

Определяется грузоподъемность также конструктивными параметрами шины, главным образом габаритными размерами, внутренним давлением, количеством слоев и типом корда в каркасе, профилем. Повышение грузоподъемности (но в ограниченных пределах) достигается увеличением внутреннего давления в шине, при котором уменьшается ее прогиб. Однако при повышении давления требуется увеличивать слойность шины, что влечет за собой нежелательные явления.

3.5. Долговечность, износостойкость и дисбаланс шин

Долговечность автомобильной шины определяется пробегом ее до предельного износа выступов рисунка протектора – минимальной высоты выступов в 1,6 мм для шин легковых автомобилей и в 1,0 мм для шин грузовых автомобилей. Такое ограничение принято из условий безопасности движения и предохранения каркаса шины от повреждений в случае износа подканавочного слоя. Долговечность шины зависит от внутреннего давления воздуха в шине, массовой нагрузки на шину, состояния дороги и условий движения автомобиля.

Износостойкость протектора определяется интенсивностью его износа, т. е. износом, отнесенным к единице пробега (обычно 1 тыс. км), при определенных дорожных и климатических условиях и режимах движения (нагрузке, скорости, ускорении). Интенсивность износа Y обычно выражается отношением уменьшения высоты h , мм, выступов рисунка протектора за пробег к этому пробегу:

$$Y = h / S,$$

где S – пробег, тыс. км.

Износостойкость протектора зависит от тех же факторов, что и долговечность шины.

Неуравновешенность и биение колес увеличивают вибрацию и затрудняют управление автомобилем, снижают срок службы шин, амортизаторов, рулевого управления, увеличивают расходы на техническое обслуживание, ухудшают безопасность движения. Влияние неуравновешенности и биения колес увеличивается с ростом скорости движения автомобиля. Шина оказывает существенное влияние на суммарный дисбаланс автомобиля, так как она наиболее удалена от центра вращения, имеет большую массу и сложную конструкцию.

К основным факторам, влияющим на дисбаланс и биение покрышки, относятся: неравномерность износа протектора по толщине и неоднородность распределения материала по окружности шины.

Исследования показывают, что наиболее неприятные последствия дисбаланса и биения колес с шинами в сборе – колебания колес, кабины, рамы и других частей автомобиля. Эти колебания,

достигая предельного значения, становятся неприятными для водителя, снижают комфортабельность, устойчивость, управляемость автомобилей, увеличивают износ шин.

Безопасность движения зависит от продольного и бокового сцепления шины с дорогой, т. е. эти сцепные характеристики определяют возможность остановить автомобиль на определенном расстоянии или предотвратить боковой занос. Кроме того, эти сцепные характеристики определяют управляемость автомобилем. Безопасность движения определяют конструктивные факторы шины. Наиболее безопасной является бескамерная шина, в которой внутреннее давление падает медленно при проколе благодаря герметичной посадке ее на ободе. Безопасность бескамерной шины, однако, зависит от состояния дорог.

Надежность – это отсутствие выхода шин из эксплуатации по каким-либо дефектам за исключением износа.

Ремонтопригодность характеризуется процентом отбора шин на восстановительный ремонт от общего количества эксплуатирующихся шин.

Экономичность шин определяется размером затрат на их производство и эксплуатацию. Одним из путей увеличения экономичности является снижение расхода материалов на их изготовление.

3.6. Неоднородность шин

Важнейшей функцией пневматической шины является защита автомобиля от возмущений со стороны дороги. Но на хорошей дороге выявляется еще один существенный источник возмущений – сама шина, точнее колесо автомобиля, поскольку и шина, и металлические части колеса не являются идеально однородными конструкциями. Возмущающие силы, естественно, оказываются периодическими с периодом, равным времени одного оборота колеса. Вклад шины в общую неоднородность колеса является основным, и он определяется геометрической неоднородностью (биение), неоднородным распределением масс (дисбаланс) и неоднородностью по жесткости. Суммарное действие всех видов неоднородности проявляется, прежде всего, в появлении дополнительных сил при качении шины. Неоднородность, в зависимости от величины этих сил, называется силовой неоднородностью.

Каждая шина имеет свой уровень неоднородности, который определяется конструкцией, характеристиками технологического процесса ее изготовления. Поэтому показатели неоднородности являются важнейшими показателями качества изготовления шин. Статистические характеристики этих показателей позволяют оценить минимальный уровень неоднородности, который может быть обеспечен в конкретных условиях производства, и установить соответствующие нормативы.

Геометрическая неоднородность – это изменение габаритных размеров и формы профиля шины по ее окружности, обычно оценивается радиальным и боковым биением накаченной шины. Биением называется размах изменения соответствующего линейного размера за оборот шины.

Для радиального биения – это радиус экваториального сечения шины, для бокового – расстояние самого широкого места шины от плоскости, параллельной экваториальной плоскости шины. Боковое биение измеряется с обеих сторон шины.

Неоднородность распределения масс любой вращающейся конструкции оценивается ее неуравновешенностью, количественной мерой которой является дисбаланс. Дисбаланс шины в целом определяется расположением и дисбалансом ее деталей: покрышки, камеры и ободной ленты. Наибольшим является вклад покрышки.

Неравномерность распределения масс шины характеризуется четырьмя величинами: значением статического и динамического дисбаланса шины и углами, определяющими направление векторов дисбаланса относительно фиксированного меридионального сечения.

Статический дисбаланс определяют нахождением величины корректирующей массы, приводящей шину в безразличное равновесие, либо положением центра тяжести или величиной центробежной силы, возникающей при ее вращении. Динамический дисбаланс может быть определен по величине моментов, возникающих при свободном вращении колеса с шиной. Обычно ее не измеряют, а определяют величины корректирующих масс, установленных на закраины обода при балансировке колеса в сборе. Динамический дисбаланс может быть рассчитан и по их величинам.

Неоднородность жесткостных характеристик может быть определена лишь при нагружении шины внешней нагрузкой. Прово-

дят непрерывные измерения при вращении шины. При этом измеряются силы и моменты, изменения которых определяются не только неоднородностью, а если измерения проводятся при высокой скорости, то и неоднородностью распределения масс. Такой комплексный показатель неоднородности шин называют силовой неоднородностью.

Силовая неоднородность определяется при прямолинейном качении накаченной шины в ведомом режиме. Измерения производятся следующим образом: устанавливается определенное межцентровое расстояние между осями колеса и барабана и измеряются изменения всех или части сил и моментов за оборот колеса, при качении в ведомом режиме с небольшой (для исключения влияния дисбаланса) постоянной скоростью при нулевых углах поворота и наклона. В соответствии с действующими ГОСТами неоднородность пневматических шин характеризуется статическим дисбалансом, радиальным и боковым биениями и величинами корректирующих масс. Радиальное биение легковых шин должно быть не более 1 мм, боковое – не более 1,5 мм. Норма статического дисбаланса для каждой легкой шины установлена отдельно, но, как и для других грузовых шин, эти нормы исчисляются как 0,5% от произведения массы шины на ее свободный радиус. Дисбаланс колеса в сборе с шиной должен устраняться установкой корректирующих масс не более 80 г в каждой плоскости балансирования.

4. АРМИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

История армирующих материалов исходит из истории шинной и текстильной промышленности. Развитие армирующих материалов для производства автопокрышек можно кратко представить в следующей хронологической последовательности:

- 1) хлопок начали выращивать в Индии уже более 5000 лет назад;
- 2) 1627 г. – Дж. Уолфен запатентовал производство непромокаемых тканей и кожи;
- 3) 1854 г. – Шеменский получил патент, в котором представлена сталь как армирующий материал для пневматических покрышек;
- 4) 1888 г. – для производства первой камерной шины Дж. Б. Данлоп использовал обрезиненную сотканную ткань (Ирландский лен) и проволоку вместо обода;
- 5) 1893 г. – Дж. Ф. Палмер подготовил безуточное полотно для велосипедных шин и запросил патент для шин с проволочным слоем;
- 6) 1896 г. – Ч. К. Уэлтч патентовал монтирование проволоки в борт покрышки;
- 7) 1896 г. – Ч. К. Уэлтч патентовал покрышку, каркас которой был изготовлен из ткани Палмера, отдельные нити в соседних слоях перекрещивались;
- 8) 1915 г. – замена кордной ткани хлопковой переплетенной тканью;
- 9) 1920 г. – первая покрышка, изготовленная с использованием вискозного корда;
- 10) 1923 г. – применением кордного полотна была разработана конструкция покрышки низкого давления;
- 11) 1930 г. – первое синтетическое полотно фирмы «Dunlop» – Nylon (найлон). С этого года значительно выросло применение стальных материалов для упрочнения покрышек;
- 12) 1941 г. – открытие полиэфирного волокна;
- 13) 1946 г. – фирма «Michelin» представила первую покрышку радиальной конструкции, упрочненную металлокордами;

14) 1960 г. – фирма «DuPont» разработала арамидное волокно, которое с 1962 г. продавалось под названием «Nomex». Затем был изготовлен следующий тип арамидного волокна под названием «Kevlar» для применения в автопокрышках.

4.1. Общие характеристики армирующих материалов

В технологической концепции современного шинного производства имеют огромное значение технические волокна и ткани, которые служат усиливающими материалами отдельных элементов покрышек шин.

Технические волокна и ткани решительным способом влияют на функциональные свойства шины, прежде всего безопасность и комфортабельность езды, а также имеют значительное влияние на срок службы шины в эксплуатации.

Армирующие материалы прошли после 1945 г. широкое развитие как с точки зрения химического состава волокна, так и с точки зрения конструкции кордной ткани. Они при конструировании шины играют значительную роль, главным образом, как композиты в комбинации с резиновыми смесями. К армирующим материалам предъявляются различные конструкционные требования в зависимости от их применения.

Обозначим основные области использования армирующих материалов при конструировании шин:

- бортовое кольцо образует тянутая металлическая проволока с несколькими витками высокой жесткости;

- каркас покрышек «Р» образуют гибкие высокомодульные текстильные волокна, обрезиненные низкомолекулярной резиновой смесью; в металлокордной радиальной покрышке – металлокордами, обрезиненными также низкомолекулярной резиной;

- брекер обычно конструируется из перекрещенных слоев металлокордов. В случае радиальных покрышек для легковых автомобилей (высокие категории скорости) кроме металлокордных брекером используется и текстильный корд, наложенный в направлении оси покрышки, который обозначается как нулевой брекер. Его главной функцией является предотвращение температурной вытяжки покрышки при качении при вы-

соких температурах, а также улучшение ездовых свойств покрышки;

– усилительные ленты – это ленты раскроенных обрезаемых текстильных или металлокордных материалов (обычно под различным углом), которые служат для усиления в области борта и в надбортовой зоне, а также как защита борта от повреждения трением от обода.

Армирующие материалы, применяемые при конструировании покрышек, делятся на текстильные армирующие и металлокордные армирующие.

4.2. Текстильные армирующие материалы

Основной формой текстильных армирующих материалов, применяемых в шинной промышленности, являются кордные нити, которые изготавливаются прядением. В этом процессе окончательно образуются их форма и структура. Основная пряжа во время этой обработки прядется (тем самым получается крутка), объединяется, свивкой в обратном направлении из нее формируется кордная нить. Кордные нити в кордной ткани образуют основу, уток очень редкий (5–6 нитей на 10 см). Уточные нити тонкие и главной их задачей является удержание кордных нитей основы на постоянном расстоянии друг от друга. Тонкость нити еще важна и для того, чтобы при нанесении или промазывании резиновыми смесями не произошло повреждения нитей основы и чтобы в местах перекрещивания нитей не захватывалось слишком много пропиточного состава, который бы мог вызвать расслоение отдельных частей изделия.

В качестве текстильных армирующих материалов применяют натуральные и химические волокна.

Из натуральных волокон в настоящее время используется только хлопок, в основном в простых изделиях, как, например, шланги, мембраны и велосипедные покрышки. Главным преимуществом хлопка является, прежде всего, несложная технологическая обрабатываемость и сбалансированность свойств.

Практическое применение химических волокон в качестве армирующих материалов для шинной промышленности нашли в основном волокна: полиэфирные, полиамидные (на основе полиамида 6 и полиамида 66) и вискозные.

В последние годы на передний план выступают волокна из ароматических полиамидов (так называемые арамидные волокна), волокна из ароматических полиэфиров и полиэтиленнафталатовые волокна.

В шинной промышленности применяется целый ряд волокон, служащих для изготовления различных форм текстильных структур, которые затем применяются как армирующий или вспомогательный материал при изготовлении покрышек. Целью является достижение оптимальных свойств композиции армирующий материал и резиновая смесь или выполнение функции, которую требует технология производства от вспомогательных материалов.

Основное разделение текстильных структур, применяемых в производстве автопокрышек, следующее: волокно, пряжа, кордная нить, кордная ткань, чефер, трикотажное полотно.

Волокно – основная единица для строения текстильных структур. Состоит из отдельных филаментарных волокон (микроволокон).

Моноволокно – волокно с более высокой тониной, которое изготавливается самостоятельно.

Пряжа – погонная текстильная структура, состоящая из одного или нескольких волокон (натуральных или химических).

Кордная нить – толстая крученая нить, которая возникает сплетением двух или нескольких крученых нитей пряжи из натурального или химического волокна. Крутка отдельных нитей пряжи выбирается по типу волокна и согласно требованиям, предъявляемым к техническим свойствам кордов. В общих словах можно сказать, что окончательная крутка всегда является компромиссом между требованиями, предъявляемыми к отдельным свойствам.

Кордная ткань образуется путем тkania основных кордных нитей с утком, который с точки зрения прочностных свойств не имеет значения, но удерживает отдельные кордные нити в определенном положении. Текстильная ткань изготавливается по точно установленной спецификации, при этом основной характеристикой является абсолютная плотность нитей, которая определяется количеством кордных нитей на 10 см. Плотность нитей по утку в сравнении с основой ниже, а именно на 7–13 нитей на 10 см.

Основа лежит по направлению длины ткани и складывается из нескольких сотен основных нитей, расположенных параллельно кромке ткани.

Уток образован одной нитью, перпендикулярной к основе, которая в кромке ткани возвращается и укладывается параллельно предыдущему утку.

Чефер возникает путем ткания основных кордных нитей с утком, который с точки зрения прочностных свойств имеет одинаковое значение и удерживает отдельные кордные нити в определенном положении. Текстильная ткань изготавливается по точно установленной спецификации, при этом основной характеристикой является абсолютная плотность нитей, которая характеризуется количеством кордных нитей на 10 см по основе и по утку. При изготовлении автопокрышек в первую очередь применяется в качестве крыльевой ленты для бортовых колец или усилительной бортовой ленты.

Для производства автопокрышек чаще всего используется самостоятельная кордная нить в форме кордной ткани и в форме чефера для усилительных лент.

Основной единицей текстильных погонных структур является тонина. Тонина текстильных материалов выражается в единицах, которые характеризуют массу текстильной структуры (волокно, пряжа, нить) на установленную длину. Основные единицы, которые используются в настоящее время текс и ден. Отношение между единицами и их характеристики представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные единицы текстильных структур

Единица	Формула	Например
Текс	Масса в граммах на 1000 м	Вискозное волокно текс 184: 1000 м вискозного волокна массой 184 г
Ден	Масса в граммах на 9000 м	Вискозное волокно ден 1650: 9000 м вискозного волокна массой 1650 г

Примечание. 1 текс = $0,11 \times$ ден; 1 ден = $9 \times$ текс.

Ассортимент и тип применяемых текстильных кордов зависит от ассортимента и назначения выпускаемых шин. В конструкции покрышки применяют корды различной плотности (количество нитей на 10 см ширины полотна). Это связано с тем, что частота нитей корда в разных слоях покрышки определяется отношением толщины нити (b) к шагу (t) b/t в основных 0,70–0,75, в последних

слоях 0,5–0,6, в брекере 0,3–0,4. Поэтому в основных слоях применяют более плотный корд, имеющий 89–95 нитей на 10 см ширины полотна (25А, 28КНТС и др.); в последних – разреженный, который обозначается в марке третьей цифрой 2 (252А, 282КНТС и др.) и имеющий 72–75 нитей. В брекере шин диагональной конструкции применяют редкий корд-брекер, в марке которого третья цифра 3 (133А, 133КНТС и др.) и 47–61 нить по основе.

Снижение плотности в последних слоях каркаса дает возможность увеличить резиносодержание от жесткого каркаса к резиновому протектору, что позволяет повысить прочность связи между слоями и деталями покрышки. Кроме того, такой выбор кордов связан с различной деформацией слоев. Верхние слои при эксплуатации шины деформируются больше, чем нижние, и опасность расслоения в них больше.

Корд как конструкционный материал при работе шины воспринимает нагрузки и многократные деформации растяжения, сжатия, ударные воздействия. Поэтому от физико-механических показателей, структуры корда, прочности связи между ним и резиной в значительной мере зависит долговечность изделий. Он должен иметь максимальную усталостную прочность, малую толщину нити, низкое теплообразование, высокую влаго-, температуростойкость, малое остаточное удлинение. В связи с повышенными требованиями к прецизионности шин к кордным тканям предъявляются ужесточенные требования: они не должны содержать внешне видовых дефектов, а распределение нитей основы должно быть равномерным по всей ширине полотна.

В шинном производстве применяют корд различной структуры:

- полиэфир: 110×1×2, 144×1×2, 167×1×2, 167×1×3, 220×1×2;
- вискозное волокно: 122×1×2, 184×1×2, 184×1×3, 244×1×2;
- полиамид: 94×1, 94×1×2, 140×1, 140×1×2, 188×1×2, 188×1×3, 220×1×2;
- арамид: 110×1×2, 168×1×2, 167×1×3, 220×1×2.

Первая цифра в структуре нити обозначает число текс, т. е. массу в граммах, приходящуюся на 1000 м длины; вторая – количество нитей для получения прядей второго повива или стренг; третья – число стренг, скрученных в кордную нить.

Полиамидный корд (капроновый и анидный) в отечественной шинной промышленности занял одно из ведущих мест. В серийной технологии широко применяют капроновый корд, волокно ко-

торого получают из поликапроамида $[-NH(CH_2)_5C(O)-]_n$ (нейлон 6). В маркировке корда КНТС: К – капроновый корд, Н – изготавливается из непромытого волокна, Т – требующий термовытяжки, С – заправленный стабилизатором. По сравнению с вискозным имеет меньшую массу, большую прочность и влагостойкость, повышенные выносливость при многократном сжатии, стойкость к тепловому старению. В то же время капроновый корд имеет повышенную ползучесть, большую изнашиваемость, повышенную усадку при высоких температурах. Перечисленные недостатки снижаются термообработкой в условиях высоких температур и натяжений. Такая обработка позволяет снизить остаточное удлинение корда с 30–35% до 16–17%. В последние десятилетия внедряется высокопрочный корд 280–350 Н, так как только при таком уровне его прочности корда возможно снижение елейности каркаса грузовых шин с улучшением при этом их эксплуатационных характеристик. Применение высокопрочного корда 28КНТС, 29КНТС по сравнению с 23КНТС в каркасе грузовых шин дает большой экономический эффект: за счет уменьшения расхода корда каркаса до 25% и расхода резины до 5–15%.

Создание корда с прочностью более 320 Н требует разработки принципиально новой технологии, сложного аппаратного оформления, что приводит к большим капитальным затратам, стоимости корда. Особым направлением в применении высокопрочного капронового корда является исследование в шинах различных типов капронового корда новых структур типа 35КНТС-О с более высокой линейностью стренги 230 текс взамен 187 текс и в одностренговом исполнении. Преимуществом таких кордов является обеспечение высокой прочности (350 Н) в случае корда 35КНТС-О и в то же время высокой удельной прочности нити по сравнению с кордом традиционной структуры 23КНТС, что позволяет сократить потребление каркасных резин на ~15–20%.

В настоящее время технология получения сверхвысокопрочного капронового корда из полимера с молекулярной массой 30–40 тыс. позволяет создать корд с прочностью 320–330 Н. Однако перспективность этого волокна для корда в значительной степени зависит от способности последнего сохранять свойства в ходе технологического процесса изготовления шин.

Анидный корд получают из волокна на основе полигексаметиленадипамида $[-NH(CH_2)_6NH-C(O)-(CH_2)_4-C(O)-]_n$ (нейлон 66).

Анидный корд по сравнению с полиамидным имеет преимущества перед капроновым в работоспособности при высоких температурах, что обусловлено более высокой температурой плавления (250–260 вместо 212–216°C); термостойкость, динамическая выносливость, относительная прочность выше на 8–10%, тепловая усадка ниже на 3–5%. В процессе вулканизации при высоких температурах (165–170°C) потеря прочности у анидного корда меньше и поэтому он обладает более благоприятным сочетанием технико-экономических свойств. При утомлении в нитях анидного корда возникает меньшее количество дефектов, чем у капронового, вследствие чего он обладает повышенными ресурсными характеристиками.

Несмотря на более высокую стоимость (приблизительно на 10%), он является более перспективным благодаря преимуществу по свойствам, возможности применения интенсифицированных режимов вулканизации, увеличению на 5–15% ремонтпригодности, высокой ходимости шин при эксплуатации. Необходимость расширения производства анидного корда обусловлена намеченным увеличением объема производства авиационных и легковых шин. Замена анида на какой-либо другой корд для авиации недопустима, а для легковых шин может привести к ухудшению их эксплуатационных характеристик. Применение высокопрочного анидного корда в авиашинах позволит снизить массу на 15% и увеличить ресурс почти на 20%. Ассортимент анидных кордов значительно расширился. Для армирования каркаса однослойных радиальных легковых шин применяется корд 13АЛТДУ: А – анидный, Т – термообработанный, Л – область применения легковых шин, ДУ – двухкомпонентный уток хлопчатобумажное (х/б) волокно + анид. Для армирования каркаса и брекера СКГШ применяют высокопрочный корд марок 30А и 302А (210 текс×1×2) и 133А (94 текс×1×2). Применяется корд 13АТЛ ДУ, 14АДУ. Использование анидных кордов в каркасе грузовых шин позволяет снизить массу, материалоемкость готовой продукции, потери массы на качество.

Полиэфирный корд (лавсан) изготавливается из полиэтилентерефталата – продукта сложноэфирной поликонденсации терефталевой кислоты с этиленгликолем или полигликолями. Элементарное звено волокна $[-C(O)C_6H_4C(O)OCH_2CH_2O-]_n$. По сравнению с полиамидным более влагостоек, но из-за плохого смачива-

ния водными адгезивами для повышения адгезии к резине требуются специальные технологические приемы. Основной задачей при использовании полиэфирного корда является разработка специального пропиточного состава при одностадийной обработке корда и рецептуры модифицированной каркасной резины.

За рубежом полиэфирный корд используется преимущественно при армировании каркаса легковых и грузовых шин небольшого размера, в основном марки 18ПДУ. В зависимости от нагруженности шин, запаса прочности, режимов эксплуатации применяется полиэфирный корд различных структур: от наиболее тонкого 94 текс \times 1 \times 2 с диаметром нити 0,5 мм до толстого 144 текс \times 1 \times 2 диаметром нити 0,8 мм. Кроме того, используются следующие структуры нитей: 111 текс \times 1 \times 2, 122 текс \times 1 \times 2, 144 текс \times 1 \times 2, 178 текс \times 1 \times 2, 167 текс \times 1 \times 2 и 111 текс \times 1 \times 3.

В последнее время во всем мире наблюдается тенденция увеличения производства и потребления полиэфирного волокна. По сравнению с анидным, полиэфирный корд имеет существенные преимущества по жесткостным и усадочным характеристикам, что делает его незаменимым армирующим материалом для каркаса высокоскоростных шин (серии H, V, Z).

Вискозный корд – это первый корд из искусственных волокон, который пришел на смену хлопчатобумажному, однако в последние десятилетия он заменяется на синтетические (полиамидный и полиэфирный). Вискозный корд, как и полиамидный, находит широкое применение в каркасе шин различных типоразмеров. Он имеет меньшую относительную разрывную нагрузку, чем полиамидный, но у него более высокий модуль и меньший показатель усадки. В связи с этим вискозный корд находит применение в тех шинах, где требуется материал, отличающийся стабильными размерами. Полимером вискозного корда является гидратцеллюлоза $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n$, получаемая из еловой древесины, 1 м³ которой дает 200 кг целлюлозы и 600–800 м² корда. Основное достоинство – повышенная теплостойкость при температурах эксплуатации в шине, низкая усадка при высоких температурах. К недостаткам вискозного корда следует отнести высокую гигроскопичность, недостаточные усталостные свойства, разрывную нагрузку для брекера радиальных шин. При поглощении влаги 11–12% происходит потеря прочности в мокром состоянии (сохраняется 60–75% прочности). При одинаковой толщине нити разрывное напряжение по-

лиэфирного и полиамидного корда одинаково, а вискозного корда ниже даже при большей толщине нити.

Отечественная промышленность химических волокон изготавливает вискозный корд из волокна супер-2 со структурой 184 текс×1×2 и 244 текс×1×2. Перспективной является кордная вискозная ткань из волокна супер-3 с высокорастяжимым бикомпонентным утком. Существует мнение, что применение вискозного корда из волокна супер-2 и супер-3 эффективно для основной массы легковых шин, за исключением скоростных и гоночных. По таким характеристикам, как цена и стабильность размеров, вискозный корд обладает преимуществом по сравнению с полиамидными и полиэфирными типами корда. Сырьевая база для вискозного корда не зависит от уровня цен на нефтепродукты. Существенными негативными факторами при производстве вискозного корда являются загрязнение окружающей среды парами сероводорода и рядом других химических компонентов, а также значительные расходы на строительство очистных сооружений.

Волокна стеклокорда получают из алюмоборсиликатного стекла, которое для снижения хрупкости обрабатывают кремнийорганическими соединениями (чаще всего γ -аминопропилтриэтоксисиланом $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2 \cdot \text{CH}_2\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$), взаимодействующими с поверхностью силикатного стекла, а затем полимерным пропиловым составом на основе эпоксидных, фенольных и других олигомеров. Свойства стеклокорда определяются составом стекла, диаметром и количеством элементарных волокон в нити, числом, величиной и направлением круток, свойством и типом покрытия. Из расплава стекла формируют волокна диаметром 9 мкм, замасливают их и скручивают нити необходимой структуры (например, 33 текс×10×3). По механическим и эксплуатационным свойствам стеклокорд близок к металлокорду, но позволяет на 10–14% уменьшить массу шины, на 20–30% – стоимость, снизить сопротивление качению, повысить комфортабельность езды. Основным недостатком стеклокорда, сдерживающим его широкое применение в шинной промышленности, является низкая прочность связи с резиной. В России выпускают стеклокорд марки 26С.

С точки зрения повышения качества шин перспективны новые высокомодульные корды – ароматические полиамиды, которые по деформационным характеристикам близки к металлокорду, но имеют меньшую массу, отсутствует коррозия, в пять раз

меньше плотность. Высокопрочные высокомодульные синтетические волокна на базе ароматических полиамидов (параарамидные волокна) были созданы в 70-х годах практически одновременно двумя независимыми путями: в России НПО «Химволокно» (г. Мытищи) на основе ароматических параполиамидов и сополиамидов, а также сополимеров, близких к парафенилентерфталамиду, и в США фирмой «DuPont» на основе парафенилентерфталамида (корд «кевлар»).

Параарамидные волокна характеризуются высокими температурами стеклования, высокой термической и термоокислительной стабильностью. Для этих материалов характерна высокая устойчивость к действию открытого огня. Особенно важна малая усадка параарамидных волокон и изделий из них при высоких температурах. За рубежом корд «кевлар» применяют в основном в брекере легковых шин высокого класса, в шинах для полицейских автомобилей, гоночных и скоростных шинах.

Адгезионные кордные нити «терлон» разработаны с использованием в качестве сырья ароматического полиамида сополимерного строения, содержащего наряду с основным количеством звеньев ПФТА небольшую добавку фрагментов мономера с поверхностной обработкой водорастворимой эпоксидной смолой, совмещаемой с процессом нанесения на терлоновые нити замасливателя. Предложено использовать высокопрочное волокно для повышения адгезионной прочности терлона, содержащего наряду с основным количеством ароматического полиамида капрон (терлон СБК: С – сополимер, Б – бензамид, К – капрон). Капрон добавляется в арамид на стадии формования при растворении в общем растворителе – серной кислоте.

Результаты стендовых и ускоренно-дорожных испытаний шин 8,25R-20 с кордом терлон и СВМ в брекере показали их одинаковую работоспособность. Экономическая эффективность применения терлона значительно выше в связи с меньшей стоимостью. По ресурсу и износостойкости опытные шины равноценны эталонным с металлокордным брекером, но вес их на 2 кг меньше.

Технические характеристики кордов приведены в табл. 2.

В последние годы большое внимание уделяется созданию гибридных типов кордов из комбинированных разнородных по химическому составу и свойствам компонентов нитей с целью наиболее эффективного использования преимуществ каждого из состав-

ляющих. Например, гибридный арамидо-найлоновый корд по сравнению с целиком арамидным имеет следующие преимущества: повышенная выносливость, работоспособность на сжатие, регулируемая усадка, более низкая стоимость по сравнению с целиком найлоновым, повышенный модуль, прочность. Качество шин в значительной степени зависит от свойств используемых армирующих материалов. Для его оценки проводятся приемосдаточные испытания с использованием стандартных методов, цель которых с минимальными затратами оценить качество корда-суровья и не пропустить в производство некондиционной продукции. Качество кордных нитей определяется по показателям: нагрузочная характеристика, разрывная нагрузка, неровнота по разрывной нагрузке, крутка, плотность, усадка, линейные размеры.

Таблица 2

Технические характеристики кордов

Тип корда	Марка	Толщина, мм	Разрывная нагрузка, Н	Удлинение при разрыве, %
Полиамидный	12КНТС, 122КНТС, 123КНТС	0,5	125	27,0
	23КНТС, 232КНТС	0,7	230	28,0
	25КНТС, 252КНТС	0,7	245	28,0
	26КНТС, 262КНТС	0,7	260	28,0
	28КНТС, 282КНТС	0,7	280	28,0
	30КНТС, 302КНТС	0,7	300	30,0
	35КНТС, 352КНТС	0,7	350	30,0
Анидный	13А, 13АТ, 132А, 133А	0,5	129	23,0
	21А 212А	0,7	250	27,0
	25А, 25 АТЛДУ, 252А			
	30А, 302А			
	33А			
Арамидный	35 АДУ, 352 АДУ			
	СВМ СП-80Б	0,79	852	6,5
	Терлон СМ-80Б	0,75	780	8,5
	СБ-80Б	0,80	849	8,5
	СБК-80Б	0,78	625	8,2
	Кевлар	0,6	250–270	4,0
Стеклокорд	26С	0,45	186	3,0–4,0
Вискозный	17В, 172В, 173ВР	0,67	170	14,5
	22В, 222ВР	0,80	220	16,0
	30В	1,02	300	17,5
Полиэфирный	Лавсан	0,52	167	20,6

Нагрузочная характеристика показывает зависимость между разрывной нагрузкой и удлинением и является одной из основных при оценке механических свойств корда и тканей.

Разрывная нагрузка и удлинение корда определяют прочность резинокордных систем. Применение в шинах корда с более высокой разрывной нагрузкой при сохранении или увеличении усталостной прочности корда приводит к улучшению качества шин: сокращается число шин, вышедших из строя по причине разрушения каркаса, повышается общий пробег шин.

Неровнота по разрывной нагрузке и удлинению – характеристики, от которых также зависит качество шин. При пропитке, обрезинивании кордной ткани, при эксплуатации изделий каждая нить подвергается растяжению пропорционально ее модулю. Поэтому одновременность работы нитей системы, а следовательно, ее качество зависит от ровноты по разрывному удлинению и нагрузке.

Крутка – количество кручений, приходящееся на 1 м кордной нити. Она выбирается таким образом, чтобы обеспечить оптимальную усталостную прочность при сохранении разрывной нагрузки нити на достаточно высоком уровне. Для оценки скрученности нитей определяют: направление крутки (обычно Z и S, рис. 34) и число витков на один метр (шаг свивки для металлического корда).

Толщина основной нити кордной ткани – это размер нити в поперечном направлении.



Рис. 34. Типы круток

От толщины кордной нити зависит слойность каркаса автомобильных шин. В конструкции шин наиболее перспективным и эко-

номичным является применение малослойных резинокордных систем, изготовленных из корда той же толщины, что и многослойные, но с более высокой абсолютной и усталостной прочностью нити. Например, в шинах используют полиамидный корд с толщиной нити 0,70 мм при разрывной нагрузке 240–250 Н. Использование корда такой толщины при разрывной нагрузке 300 Н позволяет значительно уменьшить массу и слойность шины. При выборе толщины нити конструкторы стремятся по возможности сохранить геометрическое подобие конструктивных элементов шины.

Плотность кордной ткани характеризуется числом нитей основы и утка на 10 см ткани. В различных конструктивных элементах шины используют кордную ткань различной плотности: в основных слоях каркаса – повышенной, в последних – разряженный корд, в брекере – редкий, что связано с их неодинаковой деформацией при эксплуатации. Верхние слои в зоне контакта шины с дорогой при качении испытывают более высокое напряжение сдвига и больше нагреваются, чем нижние слои. Следовательно, опасность расслоения и разрушения больше в области верхних слоев. Поэтому с целью повышения монолитности, связи между отдельными деталями многослойных покрышек используют в них разряженный корд. Особенно важны при использовании новых типов кордов их усадка при нагреве и изменение прочностных характеристик в мокром состоянии (влагостойкость), так как эти характеристики влияют на выбор режима обработки корда в шинной технологии.

4.3. Металлические армирующие материалы

Металлокорд с каждым годом занимает все более лидирующее положение среди армирующих материалов. Из всех серийных типов кордов металлический для брекера радиальных шин пока остается непревзойденным.

К металлокорду предъявляются следующие основные требования:

- высокая прочность и стабильность размеров;
- адгезия к резиновой смеси;
- равномерное распределение расстояния между проволоками;
- коррозионная стойкость;
- жесткость при изгибе;

- устойчивость при воздействии давления;
- достаточное проникание смеси в межпроволочное пространство;
- гладкие кромки закроенных обрезиненных металлокордных материалов.

Металлокорд представляет собой трос, свитый из специальной высококачественной стальной латунированной проволоки диаметром 0,15–0,27 мм холодного волочения. Качество металлического корда во многом определяется свойствами исходной проволоки: выносливостью, разрывной нагрузкой и равномерностью всех физико-механических показателей. Одним из перспективных путей увеличения выносливости проволоки является повышение чистоты металла. Применяют сталь следующего состава (%): углерод – 0,7, марганец – 0,5, кремний – 0,3, сера не более 0,3, свинец не более 0,03. В его маркировке первые три цифры указывают число свитых проволок, последующие – диаметр использованных проволок (мм \times 100). Буквы Л – латунированный; А – высшей категории качества.

Конструкцию корда записывают, начиная с сердечника и указывая число проволок. Если проволоки имеют разную толщину, то записывают и их толщину. Например, 9Л15/27 структуры $3 \times 15 + 6 \times 27$ означает: одна прядь из трех проволок (стренг) диаметром 0,15 мм и шесть, окружающих ее диаметром 0,27 мм. Для изготовления металлокорда применяют проволоку диаметром (мм): 0,150, 0,175 (0,180), 0,265 (0,270).

Для повышения проникаемости резиновой смеси во внутрь металлокорда используют такие конструкции металлокордов, при которых проволоки «свободно» наложены и резиновая смесь может обернуть кордные нити по всей окружности. Данная конструкция в практике обычно называется открытой («Open», рис. 35).



Рис. 35. Сравнение конструкций металлокорда
а – открытая («Open»); б – Betru

Такие конструкции увеличивают поверхность проволоки, и тем самым обеспечивается более высокая адгезия между резиновой смесью и металлическим армирующим материалом. Конструкции основных типов металлокорда показаны на рис. 36.

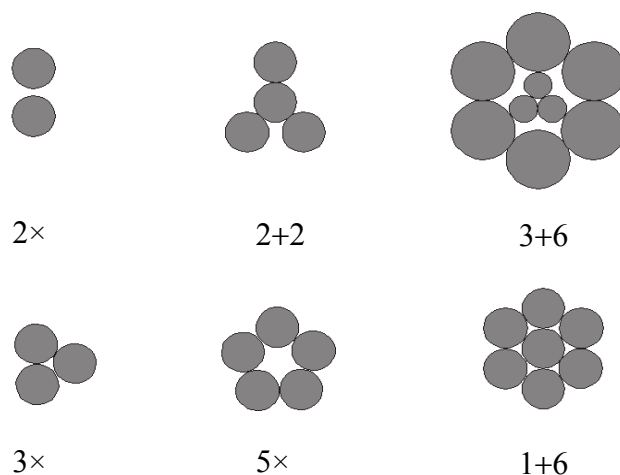


Рис. 36. Конструкции основных типов металлокорда

В последнее время для высокопрочных кордов применяют проволоку диаметром 0,30 мм. С увеличением толщины ухудшаются его технологические характеристики, он становится жестче, но повышаются прочностные показатели. Внедрены новые марки и конструкции металлокорда: трехпрядных конструкций с одно-сторонней свивкой в пряди и в нити типа 15Л18, который заменяет 9Л15/27, 9Л22, 15Л/25. Они имеют повышенную усталостную выносливость и гибкость. Металлокорд высокопрочных конструкций 2Л30НТ и 3Л30РТ имеет улучшенные удельные прочностные показатели, повышенную усталостную выносливость. Его применение позволяет снизить массу шины, уменьшить потери на качение. В последнее время применяют металлокорд односторонней свивки с высоким удлинением при разрыве 16Л22НЕ и 21Л22НЕ в брекере шин для повышения сопротивляемости ударным нагрузкам и улучшения комфортабельности езды. Ведутся работы по созданию высокопрочного металлокорда для крупно- и сверхкрупногабаритных цельнометаллокордных шин (рис. 37). Корды типа 190Л18, 190Л22, 28Л30/15 должны характеризоваться высокой прочностью, адгезией, коррозионной стойкостью, низким фритингом, т. е. хорошим затеканием резины в нить. Зарубежные фирмы применяют

металлокорд разнообразного ассортимента, используя проволоку диаметром от 0,10 до 0,38 мм более сложных конструкций, как, например, $3 \times 20 + 6 \times 38$; $7 \times 4 \times 23 + 1 \times 15 \times 3 + 9 + 15 \times 18 + 1 \times 15$ и др.

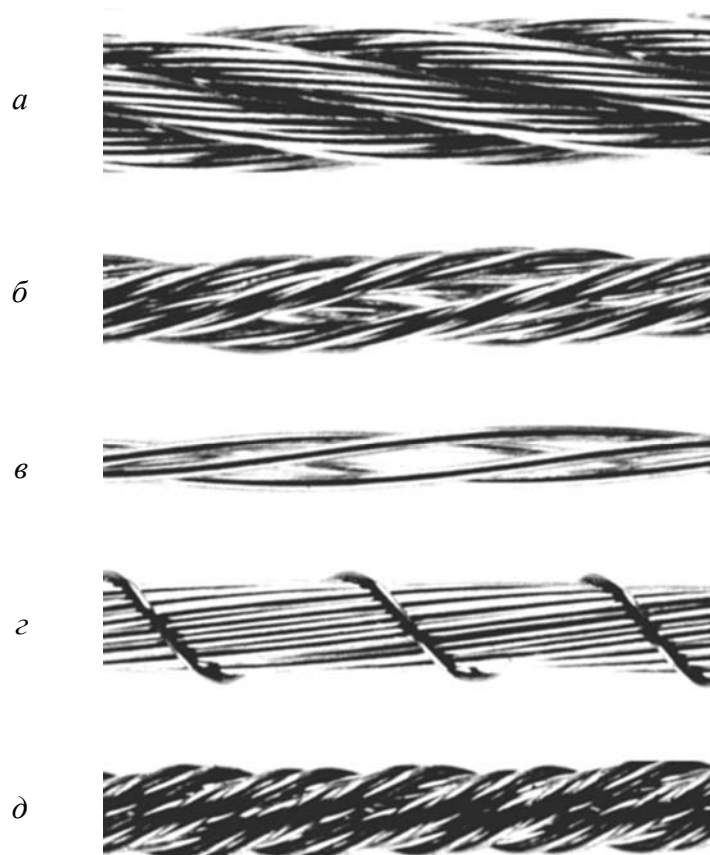


Рис. 37. Направления развития в конструкциях
металлокордов для легковых покрышек:

- а* – обычный корд – направление скручивания проволок в жиле обратное направлению скручивания жил в корде;
- б* – корд с Ланговым направлением скручивания – направление скручивания проволок в жиле совпадает с направлением скручивания жил в корде;
- в* – открытый корд (ОС) – проволоки свободно соединены, что позволяет затекать каучуковой смеси между нитями корда;
- г* – компактный корд (СС) – корд с оплеткой, в которой линейное взаимное положение проволок;
- д* – высокорастяжимый корд (НЕ) – корд с Ланговым направлением скручивания, в котором жилы только свободно соединены и перемещаются так, чтобы корд мог при данной нагрузке растянуться

Следует иметь в виду, что проникновение резиновой смеси в свободное пространство между проволоками тем больше, чем из большего количества проволок состоит металлокордный трос.

В то же время чем полнее затекает резиновая смесь в конструкцию корда, тем лучше эксплуатационные характеристики. По мнению ведущих специалистов шинной промышленности, в современных конструкциях шин требования к металлокордам, используемым в каркасных и брекерных слоях, должны отличаться. Так, например, важными характеристиками для металлокорда каркасных слоев являются разрывное усилие, адгезия к резине, сопротивление фреттинг-коррозии и сохранение прочности в процессе эксплуатации, усталостная выносливость, масса слоя каркаса; для металлокорда брекерных слоев – разрывное усилие, адгезия к резине, полнота проникновения резины в структуру металлокорда, сопротивление выходу (анкеровка), изгибная жесткость, масса брекера.

Стоимость металлокорда с высоким уровнем прочности проволок, как правило, превышает стоимость аналогичных конструкций из проволок нормальной прочности вследствие пониженных скоростей переработки, кроме конструкций с высоким диаметром проволок: $3 \times 0,20 + 6 \times 0,35 \text{ НТ}$ и $3 \times 0,365/9 \times 0,34 + 0,15 \text{ НТ}$. Ввиду возможности использования высокопрочного металлокорда с большим (примерно на 20%) шагом укладки при равной прочности слоев, его применение также экономически оправдано.

Работоспособность металлокорда во многом определяется качеством исходного материала-катанки. Результаты химико-спектрального анализа катанки отечественного производства показывают возможность следующих отклонений от требований: наличие микротрещин, высокий уровень неметаллических включений. Такой корд характеризуется меньшим разрывным усилием, большим разбросом показателя от среднего арифметического значения и, как следствие, худшими эксплуатационными свойствами.

Прочность металлокорда и ее сохранение в процессе эксплуатации реализуется за счет использования проволок с высокой удельной прочностью (НТ), а также их компактного расположения в витой структуре. Преимущества линейного касания перед точечным при испытании на выносливость проявляются в интенсивности износа поверхности проволок, что в меньшей степени вызывает падение прочности их из-за снижения площади поперечного сечения в месте контакта. Этот показатель позволяет спрогнозировать срок эксплуатации шин и определить коэффициент запаса прочности каркаса шин. Поэтому для каркаса рекомендуют конструкции: $0,20 + 18 \times 0,175$; $0,22 + 18 \times 0,20$ и $0,25 + 18 \times 0,22$.

Качество металлокорда оценивается следующими показателями: прямолинейность, нераскручиваемость, выносливость, остаточное кручение. Металлокордная нить считается прямолинейной, если отрезок длиной в три метра лежит в состоянии покоя на плоскости, ограниченной двумя прямыми линиями, расстояние между которыми 75 мм.

Прямолинейность корда достигается снятием внутренних напряжений, которые возникают в период свивки. Такой корд точно располагается в полотне и обеспечивает создание в шине равномерной нагрузки, а также ее повышенную ходимость. По показателю «прямолинейность» отечественный металлокорд уступает импортным аналогам.

Нераскручиваемость – один из важнейших показателей качества. Нить считается нераскручиваемой, если после разрыва при однократном надавливании ее конец не расплетается. Нераскручиваемость влияет на прочность связи с резиной. Например, если у раскручиваемого корда 9Л15/27 прочность связи с резиной 0,15 Н, то у нераскручиваемого 0,26 Н.

По сравнению с текстильными кордами металлический обладает высокими показателями по разрывному напряжению, модулю при растяжении, стойкостью к тепловым воздействиям, малой растяжимостью при многократных деформациях.

Выносливость металлокорда определяет устойчивость прикладываемых к шине нагрузок «сжатие – растяжение – перегиб». Предел усталости металлокорда зависит от геометрии расположения, проволок, технологических особенностей проволочных переделов, качества используемой катанки и величины остаточных внутренних напряжений в проволоках после свивки.

Показатель изгибной жесткости в брекерных слоях шин определяет стабильность формы под нагрузкой, величину площади контакта протектора с дорогой и, соответственно, уровень сопротивления качению. Применение проволок повышенного диаметра в металлокорде позволяет обеспечить необходимую жесткость брекерного слоя и уменьшить количество слоев в шине. Перспективные конструкции при равной с исходным металлокордом прочности обеспечивают повышение изгибной жесткости от 15 до 200%.

Замена корда на более жесткий требует взвешенного подхода. Иногда в конструкциях брекера грузовых шин от первого до по-

следнего слоя используют один и тот же корд, хотя известно, что к разным слоям предъявляются различные требования. Например, верхний экранирующий слой для внедорожных машин должен эффективно гасить удары, дорожных машин – иметь высокую адгезию к резине и сопротивление коррозии. Средние слои брекера обычно несут основную нагрузку и должны иметь максимальную жесткость. Оптимальный подбор кордов по жесткости в брекерных слоях позволяет повысить эксплуатационные свойства шин и их рентабельность.

Зарубежные фирмы анализируют показатель «остаточное кручение» с указанием среднего арифметического значения и среднего квадратичного отклонения. В отечественном корде может быть в начале катушки $+3$, а в конце -3 оборота. Разброс показателя «остаточное кручение» у импортного корда $(+0,09) - (-0,06)$ оборота. «Остаточное кручение» характеризуется крутящим моментом находящегося в свободном состоянии металлокорда и в полном объеме определяет его технологические свойства. Наличие большего остаточного кручения вызывает выход единичной проволоки из покрышки и является причиной преобладающего дефекта радиальных шин «разрушение металлокордного брекера», так как металлокорд с большим остаточным кручением стремится принять естественное положение.

Адгезионная способность металлокорда определяет его эксплуатационные характеристики. На прочность связи с резиной оказывают влияние условия и срок хранения. Зарубежные фирмы наряду с силикогелем-осушителем помещают в полиэтиленовую тару для металлокорда видимый через оболочку индикатор влажности, что позволяет контролировать условия хранения и при необходимости заменять осушитель. Отечественный металлокорд упаковывается в металлические бочки, являющиеся возвратной тарой. При этом отсутствует контроль и регулирование условий хранения.

Основные разрушения – разрушение металлокордного брекера по кромке с выходом стренг через покровные резины; разрушение металлокордного брекера по беговой дорожке с последующим сквозным разрывом каркаса; расслоение металлокордного брекера с последующим его разрушением. Недостатками металлического корда являются его низкая выносливость при многократных деформациях изгиба, низкая коррозионная стойкость и повышенная плотность материала.

5. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РЕЦЕПТУР ШИННЫХ РЕЗИН

В обеспечении эксплуатационных свойств шин резины играют существенную роль, поскольку определяют в значительной степени важнейшие показатели шин: надежность, долговечность, ремонтно-пригодность, сцепные и топливно-экономические характеристики.

Совершенствование рецептуры шинных резин происходит в нескольких направлениях:

- уменьшение степени наполнения техническим углеродом и маслом;
- повышение степени сшивания резин;
- использование методов многостадийного смешения, в результате чего изменяются морфология эластичной фазы и распределение технического углерода;
- применение смесей полимеров и разработка модифицированных полимеров и полимеров с заданной микроструктурой;
- замена большей части технического углерода на осажденную кремнекислоту совместно с силанами – промоторами взаимодействия полимер-наполнитель.

5.1. Покровные резины

К покровным резинам автомобильных шин относятся резины протектора (которые, в свою очередь, делятся на резины бегового и подканавочного слоя) и боковины. Основным назначением покровных резин является обеспечение взаимодействия автомобиля с дорогой, а также защита каркаса шин от истирания, пробоев, порезов и атмосферных воздействий.

Покровные резины играют существенную роль в обеспечении важнейших эксплуатационных показателей шин: тягово-сцепных и топливно-экономических характеристик, долговечности, надежности и ремонтнопригодности. Безопасность движения автомобиля и его тяговые возможности прямо связаны с коэффициентом трения

протекторных резин, а долговечность шин – с износостойкостью резин. Топливная экономичность шин определяется их потерями на качение. Считается, что снижение потерь на качение на 10% обеспечивает экономию топлива приблизительно на 2%. Известно, что покровные резины вносят основной вклад в потери на качение шин (50–70%). Снижение теплообразования в протекторе сокращает выход шин по дефектам – отслоение протектора и «разрушение каркаса» и повышает надежность и ремонтпригодность шин (особенно СКГШ).

Основные выходные характеристики протекторных резин:

- упруго-гистерезисные свойства;
- коэффициент трения;
- износостойкость;
- стойкость к механическим повреждениям;
- усталостная выносливость.

Упруго-гистерезисные свойства являются фундаментальным показателем протекторных резин, определяющим их другие выходные характеристики. Упругость резин обуславливает связь между напряжениями и деформациями и в статических условиях характеризуется при малых деформациях твердостью, модулем сдвига (G), модулем Юнга (равен $3G$), а при больших – напряжением при заданном удлинении (например, напряжение при удлинении 300% (M_{300})), а в динамических условиях – динамическим модулем (E). Как известно, большие обратимые деформации резин обусловлены способностью полимера под воздействием внешних сил изменять свою конфигурацию путем независимых перемещений отдельных участков цепей, имеющих различные размеры и подвижность. Эти протекающие во времени процессы перехода участков цепей от неравновесного состояния в равновесное называются релаксационными. Сокращение времени воздействия силы (или увеличение частоты динамического нагружения) эквивалентно снижению температуры и наоборот. Это является научной основой метода температурно-временного приведения. Вследствие высокой вязкости системы и ограниченности времени приложения силы участки цепей не успевают переместиться в свое равновесное состояние и поэтому в резинах деформация отстает от напряжения, что приводит к потере части приложенной механической энергии или к гистерезисным потерям и, как следствие, к теплообразованию в резинах.

Гистерезисные потери характеризуются модулем внутреннего трения (K) или модулем потерь (E''), или тангенсом угла потерь – величиной пропорциональной отношению K / E .

В зависимости от частоты и температуры модуль внутреннего трения (потерь) и $\operatorname{tg}\delta$ изменяются по кривой с максимумом, находящимся в зоне перехода от каучукоподобного к стеклообразному состоянию резин. Положение максимума, т. е. частота или температура, при которых он наблюдается, зависит от температуры стеклования полимера ($T_{\text{ст}}$). Чем ниже $T_{\text{ст}}$, тем при более низкой температуре или высокой частоте наблюдается максимум E'' (K) и $\operatorname{tg}\delta$. В связи с различным расположением максимума $\operatorname{tg}\delta$ кривые зависимости $\operatorname{tg}\delta$ от температуры (частоты) для резин на основе каучуков с различной температурой стеклования, как правило, пересекаются.

В настоящее время развиты представления о том, что основные выходные характеристики протекторных резин, влияющие на эксплуатационные свойства шин – износостойкость, сцепление с мокрой дорогой и потери на качение, зависят от $\operatorname{tg}\delta$, определяемого в различном диапазоне частот (температур). Для прогнозирования износостойкости обычно используют $\operatorname{tg}\delta$, определенный при температуре -60° и ниже, сцепление с дорогой $\sim 0^\circ$ и потери на качение $50-60^\circ$.

Внешнее трение резины определяется потерей (диссипацией) энергии в контакте резины с контртелом при их перемещении. Существуют два основных подхода к объяснению происхождения внешнего трения: молекулярно-кинетический (основная причина диссипации энергии – преодоление молекулярного взаимодействия в контакте) и молекулярно-механический (гистерезисные потери при передеформировании резины в контакте).

В общем виде сила трения выражается суммой адгезионной F_a и деформационной (гистерезисной) F_g составляющей. Адгезия обусловлена возбуждением полимера на молекулярном уровне, а гистерезис – деформацией резины на макроскопическом уровне при трении на шероховатой поверхности. В том и другом случае имеет место рассеивание энергии вследствие вязкоупругости. О вязкоупругой природе трения свидетельствует применимость принципа температурно-временного приведения к коэффициенту трения резин как на гладких, так и шероховатых поверхностях. При использовании этого принципа, зависимости коэффициента трения от логарифма скорости при разных температурах могут

быть перестроены в одну обобщенную кривую. Обобщенные кривые трения промышленных полимеров по гладким поверхностям имеют максимум, положение которого определяется температурой стеклования. Характер кривых зависимости коэффициента трения от скорости и температуры подобен аналогичной зависимости $\text{tg}\delta$. Экспериментально показано, что сила трения как на гладких поверхностях (адгезионная составляющая), так и на шероховатых поверхностях со смазкой (деформационная составляющая) прямо зависит от $\text{tg}\delta$ протекторных резин.

Из других свойств протекторных резин существенное влияние на коэффициент трения оказывает твердость (модуль) резин. При сухом трении по гладким поверхностям повышение твердости резин вызывает снижение коэффициента трения. Это связано с уменьшением фактической (истинной) площади контакта. При трении на мокрых шероховатых поверхностях влияние твердости неоднозначно: с одной стороны, повышение твердости (динамического модуля) снижает деформируемость резин, следовательно, их гистерезисные потери, но с другой – способствует прорыву пленки воды на острых выступах контртела и, повышая площадь сухого контакта, способствует увеличению коэффициента трения (коэффициент трения на сухой поверхности существенно выше, чем на мокрой). С этим согласуются экспериментальные данные по оценке сцепления легковых шин с протекторными резинами разной твердости на мокрых поверхностях с различной шероховатостью. На шероховатой дороге шины с высокомодульной резиной имели большее сцепление с дорогой, а на сравнительно гладкой поверхности наблюдалось обратное явление. Положительное влияние твердости протекторных резин проявляется особенно при оценке сцепления шин с мокрой шероховатой дорогой при поворотах. Это связано, помимо облегчения удаления пленки воды, с повышением устойчивости и управляемости автомобиля.

Сцепление с обледенелой дорогой имеет крайне важное значение для шин, особенно зимних и всесезонных. На твердой обледенелой дороге тормозной путь в 10 раз, а на мокрой дороге с тающим льдом в 20 раз больше тормозного пути на сухой дороге. Для обеспечения сцепления шин со льдом необходимо, чтобы резина обладала способностью следовать топографии ледяной поверхности. Поэтому резина должна обладать невысоким модулем при низких температурах.

Гистерезисные потери в резинах непосредственно определяют потери на качение шин. Для прогноза потерь на качение шин по данным упругогистерезисных свойств резин необходимо знать режимы нагружения резины в отдельных деталях. Известно, что элементы (шашки) протектора при прохождении зоны контакта подвергаются сжатию (режим заданного напряжения $\sigma = \text{const}$) и изгибу (режим заданной деформации $\varepsilon = \text{const}$). При режиме $\varepsilon = \text{const}$ величина деформации не зависит от модуля упругости (динамического модуля E) резины, а возникающее напряжение прямо пропорционально модулю. В этом режиме гистерезисные потери ΔW зависят от динамического модуля внутреннего трения K и не зависят от динамического модуля. В режиме заданного напряжения величина напряжения не зависит от модуля резины E , а величина деформации обратно пропорциональна модулю упругости E . Гистерезисные потери в этом режиме прямо пропорциональны отношению K / E^2 . Таким образом, режим нагружения резины играет важную роль при выборе модуля упругости резины. При режиме $\varepsilon = \text{const}$ не следует стремиться к высокому модулю, т. к. в жесткой резине возникнут большие напряжения, а при режиме $\sigma = \text{const}$, наоборот, высокомодульная резина будет находиться в выгодных условиях, поскольку будет подвергаться меньшим деформациям.

Промежуточным между режимами заданной деформации и заданного напряжения является режим заданной энергии цикла ($W = \text{const}$). В этом режиме независимо от модуля упругости резины работа деформации (т. е. произведение $\delta \times \varepsilon$) остается постоянной. Гистерезисные потери в резинах при этом режиме пропорциональны отношению K / E , т. е. тангенсу потерь ($\text{tg} \delta$).

Резина подканавочного слоя воспринимает усилия, определяемые деформациями каркаса, а также передаваемые шашками протектора. Принято считать, что режим работы подканавочного слоя грузовых шин близок к режиму заданной энергии цикла, а легковых – к режиму заданной деформации.

Деформация боковин определяется, в основном, прогибом шины и не зависит от модуля, т. е. режим работы боковин близок к режиму заданных деформаций.

Таким образом, режим нагружения резины протектора шин весьма сложен, причем количественное соотношение отдельных режимов изучено недостаточно. Корреляционный анализ связи потерь на качение в шинах за счет протектора (при одинаковых

каркасах) и удельными потерями в протекторных резинах при различных режимах нагружения показал, что суммарный режим работы протектора грузовых шин близок режиму заданной энергии цикла, т.е. потери на качение шин, различающихся только протекторными резинами, прямо зависят от отношения K/E . Для легковых шин наибольший коэффициент корреляции ($\sim 0,97$) потерь на качение наблюдался с отношением $K/E^{0,5}$. Следовательно, зависимость потерь на качение шин от гистерезисных потерь в протекторных резинах можно выразить:

- для грузовых шин $f = a_1 + c_1 K/E$;
- для легковых шин $f = a_2 + c_2 K/E^{0,5}$, где a_1 , и a_2 – потери на качение за счет каркаса.

Таким образом, для снижения потерь на качение следует стремиться к снижению модуля внутреннего трения и повышению динамического модуля, однако для легковых шин степень влияния динамического модуля на потери на качение ниже, чем для грузовых.

Усталостная выносливость и атмосферостойкость – важнейшие свойства покровных резин. Недостаточная усталостная выносливость приводит к выходу шин из эксплуатации по дефектам «трещины по канавкам протектора» или боковине, а неудовлетворительная озоностойкость к светоозонным трещинам по боковине и бортовой ленте. Усталостная выносливость характеризуется величиной усталостной деформации, напряжения или энергии цикла при выбранной базе (например, 107–108 циклов). Сопоставление этих величин с номинальными значениями позволяет судить о коэффициенте запаса усталостной выносливости. Усталостная выносливость зависит от упругопрочностных, гистерезисных характеристик резин и их химической стойкости. В режиме $\epsilon = \text{const}$, характерном для боковин и подканавочного слоя легковых шин, целесообразно применение низкомодульных резин. Положительное влияние прочности резин проявляется при больших напряжениях (деформациях), а химической стойкости – при малых. Гистерезисные потери, обуславливая повышенное теплообразование, отрицательно влияют на усталостную выносливость.

Озонное растрескивание наблюдается только при определенной критической деформации и активируется светом и теплом. Озонному растрескиванию наиболее подвержена боковина шин радиальной конструкции, для которых уровень максимальных деформаций в 2 раза выше, чем для шин «Д».

Истирание протекторных резин представляет собой сложный процесс, при котором протекают различные по природе явления: механические, химические, механохимические и др. Известно, что при скольжении резин, особенно в пятнах контакта, возникают высокие температуры, могущие достигнуть температур термического разложения резины. Скорость деформирования резины поверхностного слоя оценивается в 106–107%/с. Механизм истирания определяется как условиями деформирования поверхностного слоя резины, так и его физико-химическими свойствами, которые претерпевают значительное изменение в результате механических воздействий, высокой температуры и кислорода воздуха.

В настоящее время развиты представления об отдельных видах износа резин – «механических», когда отделение частиц поверхностного слоя резины происходит за один или несколько контактов с контртелом (абразивном износе, износе посредством «образования скаток» и скалывания «выкрашивания»), и усталостном, когда отделение частиц происходит после многократных деформаций поверхностного слоя. «Механические» виды износа реализуются в том случае, когда мощность (работа) трения превосходит энергию разрыва и раздира резин. Очевидно, что при «механических» видах износа интенсивность истирания на несколько порядков выше, чем при усталостном. Износ шин происходит, как правило, по смешанному механизму с преобладанием усталостного износа. При эксплуатации шин в так называемых жестких условиях, т. е. при высоких значениях работы трения в контакте (частые торможения и ускорения, повороты и т. д.) на дорогах с усовершенствованным покрытием возрастает доля износа посредством образования «скаток», на дорогах с повышенной микрошероховатостью – доля абразивного износа и на дорогах с неусовершенствованным покрытием – износа посредством «скалывания». Даже небольшая доля «механических» видов износа вызывает существенное увеличение суммарной интенсивности износа шин.

Очевидна прямая связь износостойкости с прочностными свойствами поверхностного слоя резин, определяемыми при высоких скоростях деформирования, имеющих место в контакте с контртелом, и обратная – от коэффициента трения. Считается, что износостойкость прямо связана с гистерезисными потерями при высоких частотах (низких температурах). Положительная роль гистерезисных потерь следует также из модели проскальзывающего

зубчатого колеса: снижение эластичности протекторной резины приводит к меньшему проскальзыванию элементов протектора при выходе из контакта. Однако следует учитывать, что повышение гистерезисных потерь играет и отрицательную роль, так как приводит к повышению температуры в контакте. При усталостном износе износостойкость зависит от усталостной выносливости резин, их стойкости к механической и термоокислительной деструкции.

Влияние модуля упругости резин при различных видах износа неоднозначно: отрицательное при усталостном износе и, особенно, при износе посредством «скалывания» и положительное – при абразивном и износе посредством образования «скаток». С повышением модуля протекторных резин снижается интенсивность работы трения и износ шин «Р» (с точки зрения механики), а шин «Д» проходит через максимум.

Поскольку преобладающим видом износа является усталостный износ, то в общем виде для всех шин наблюдается немонотонная зависимость интенсивности износа от модуля.

В связи с противоположным влиянием модуля резин на их износостойкость при различных видах износа оптимальное значение модуля, обеспечивающее максимальную износостойкость, зависит от соотношения усталостного и «механических» видов износа, которое определяется условиями эксплуатации шин. Так, оптимальное значение модуля существенно выше для шин, эксплуатируемых на дорогах с усовершенствованным покрытием при высоких интенсивностях работы трения (например, легковых шип), поскольку определенную роль играет износ посредством «скалывания», по сравнению с шинами, эксплуатируемыми на дорогах с неусовершенствованным покрытием и в карьерах. Это связано с резко отрицательным влиянием повышения модуля на «скалывание» – «выкрашивание» протектора. Таким образом, для шин, эксплуатируемых на усовершенствованных дорогах, целесообразно с точки зрения обеспечения комплекса улучшенных эксплуатационных свойств повышение модуля резин до оптимального значения.

Требования к улучшению эксплуатационных показателей покровных резин должны, как правило, сочетаться с обеспечением необходимых технологических свойств покровных резин. Для обеспечения удовлетворительной переработки на технологическом оборудовании протекторные смеси должны обладать сравнительно невысокой вязкостью, достаточной пластичностью и ус-

тойчивостью к подвулканизации. Как правило, пластичность протекторных резин ограничена пределами $0,35 \pm 0,05$, время подвулканизации по Муни при 130°C должно составлять не менее 13–15 мин. Покровные смеси должны характеризоваться достаточной адгезией к валкам и невысоким эластическим восстановлением. Весьма жесткие требования предъявляются к вулканизационным характеристикам покровных резин. При действующих в промышленности режимах вулканизации при 145°C оптимальное время вулканизации ($\tau_{\text{опт}}$) находится в пределах 30–40 мин, а максимальная продолжительность вулканизации (τ_{max} при 145°C) должна быть не менее 150 мин. При этом протекторные резины для легковых шин должны обеспечивать удовлетворительное сохранение свойств при температуре T_{max} в течение 10 мин, а для грузовых при 160° в течение 50 мин.

Режимы нагружения и, соответственно, требования к резинам для беговой части протектора, подканавочного слоя и боковины существенно различаются. Для наиболее полного обеспечения противоречивых требований к этим резинам целесообразно изготовление протектора из трех разных резин, что позволит повысить эксплуатационные свойства шин и использовать в подканавочном слое и боковинах (особенно шин «Д») более дешевые резины. Для подканавочного слоя могут быть применены резины с большей эластичностью, а для боковин – с повышенной усталостной выносливостью и атмосферостойкостью по сравнению с резинами беговой дорожки.

Анализ требований к протекторным резинам показывает, что в большинстве случаев они противоречивы. Так, требования к повышенной износостойкости не совпадают с требованиями обеспечения хороших технологических свойств, высокого коэффициента трения и усталостной выносливости, низких гистерезисных потерь. В каждом случае эти требования дифференцируются в зависимости от типа и размера шин, условий их эксплуатации. Так, для обеспечения высокой долговечности шин типа «Р» имеет большое значение стойкость к механическим повреждениям. В них целесообразно применение более жестких, чем в шинах типа «Д», протекторных резин. Использование резин с повышенными модулями для шин типа «Р» целесообразно также с точки зрения снижения повышенного износа резин и улучшения устойчивости и управляемости автомобиля.

С увеличением размера шин возрастает роль теплообразования, которое для большегрузных шин становится фактором, определяющим их надежность и работоспособность. По мере увеличения размера шин повышаются требования к упругогистерезисным свойствам протекторных резин и прочности связи с брекером. Величина гистерезисных потерь практически не влияет на работоспособность легковых шин. В протекторных резинах с целью повышения сцепления шин с мокрой дорогой допускается некоторое увеличение гистерезисных потерь.

Протекторные резины шин, эксплуатируемых на подъемно-рудничном транспорте, разрушаются вследствие проколов, возникающих при контакте с режущими кромками горных пород. Особо тяжелые условия эксплуатации протекторных резин шин на машинах, осуществляющих погрузку и перевозку стальных пород, которые образуются при взрыве горной массы: протектор подвергается многочисленным порезам, проколам и, вследствие этого, быстрее изнашивается. В условиях бездорожья износостойкость шин зависит от упругожесткостных свойств протекторных резин.

Нормативные требования к физико-механическим показателям, прочности связи с брекером и каркаса с боковиной приводятся в стандартах на различные типы шин. Так, например, для грузовых шин радиальной конструкции протекторные резины должны иметь напряжение при 300% удлинения не менее 7,0 МПа, прочность при растяжении не менее 16,0 МПа при относительном удлинении не менее 450%. Фактические показатели резин должны быть всегда выше нормативных, что обеспечивает необходимое качество изготавливаемых резин и эксплуатационные характеристики готового изделия.

Для протекторных резин крупногабаритных шин, эксплуатируемых с большим плечом пробега, и для сверхкрупногабаритных шин теплообразование и, следовательно, гистерезисные потери в протекторе становятся фактором, определяющим надежность и долговечность шин.

Напротив, для крупногабаритных шин, эксплуатируемых в карьерах и рудниках при сравнительно невысоких скоростях с малым плечом пробега, приоритетным является стойкость к механическим повреждениям («скалыванию» и «выкрашиванию» элементов рисунка протектора).

Для автобусных и грузовых шин, предназначенных для междугородных и международных перевозок (эксплуатируемых в основном на дорогах с усовершенствованным покрытием) приоритетным является снижение гистерезисных потерь в протекторе, в то время как обеспечение высокой стойкости к механическим повреждениям становится менее значимым.

Для средних и тяжелых радиальных и диагональных грузовых шин, преимущественно эксплуатируемых на дорогах с неусовершенствованным покрытием, помимо низких теплообразования и гистерезисных потерь, в протекторе необходимо обеспечить высокую износостойкость.

Для легко-грузовых шин и легковых диагональных шин приоритетными являются износостойкость и сцепление с мокрой дорогой.

Требования к легковым радиальным шинам зависят, прежде всего, от категории скорости и типа автомобиля.

Для высокоскоростных шин (категории скорости H, V, Z) на первый план выдвигается обеспечение высокого сцепления с мокрой дорогой, а также (для автомобилей высокого класса) – снижение шумообразования.

Для легковых шин категории скорости S и T протекторные резины должны обеспечить, в первую очередь, низкие гистерезисные потери и хорошее сцепление с мокрой дорогой.

Для экологически чистых, т. н. «зеленых» (Green Energy) легковых шин главным является применение протекторных резин с очень низкими гистерезисными потерями.

Для зимних шин приоритетным является обеспечение высокой эластичности и низкой твердости протекторных резин при нормальной и отрицательной температурах, что позволяет получить высокий уровень сцепления на снегу и льду.

Дифференцирование требований к свойствам протекторных резин в зависимости от размера, условий эксплуатации и конструкции шин дает возможность более рационально подходить к построению рецептуры резин. Протекторные резины различных типов шин различаются составом полимерной основы, вулканизирующей группы, степенью наполнения техническим углеродом.

Условия эксплуатации в значительной мере определяют выбор типа полимера для протекторных резин шин различного назначения.

В протекторных резинах автомобильных шин используются натуральный и синтетические каучуки общего назначения: изопреновый синтетический каучук (СКИ-3), бутадиеновый синтетический каучук (СКД), бутадиен-стирольный каучук (БСК). Резины из СКИ-3 по комплексу усталостно-прочностных и упругогистерезисных показателей приближаются к резинам из НК, но по ряду свойств уступают последним. Это особенно проявляется при оценке прочностных свойств резин с повышенной густотой вулканизационной сетки при высоких температурах. Износостойкость шин с протектором из СКИ-3 в средних и тяжелых условиях эксплуатации на дорогах с усовершенствованным покрытием близка к износостойкости шин с протектором из НК, а в жестких – несколько ниже. При эксплуатации шин в карьерах резины из СКИ-3 по стойкости к порезам, «сколам» и «выкрашиванию» уступают резинам из НК.

БСК сообщает протекторным резинам высокую стойкость к механическим повреждениям («скалыванию», проколу) и повышает коэффициент трения с мокрой поверхностью. Недостатками резин из БСК являются высокие гистерезисные потери и сравнительно низкая морозостойкость. По динамической выносливости и износостойкости в условиях повышенных температур резины из БСК превосходят резины из СКИ-3. Шины с протектором из БСК превосходят по износостойкости шины с протектором из СКИ-3 в жестких условиях эксплуатации, т. е. при высоких мощностях трения.

Цис-1-4-бутадиеновый каучук СКД сообщает протекторным резинам ценные свойства: повышенную эластичность, износостойкость, динамическую выносливость и морозостойкость. Вместе с тем резины на основе этого каучука имеют неудовлетворительные технологические свойства, низкий коэффициент трения (на 30–40% ниже, чем резины из БСК и СКИ-3), низкую стойкость к механическим повреждениям. Модуль внутреннего трения резин на основе СКД выше, чем резин из СКИ-3. Близкие к резинам из СКИ-3 эластичность, теплообразование, а также гистерезисные потери в режимах заданной энергии цикла (K/E) и, особенно, в режиме заданного напряжения (K/E^2) объясняются высоким динамическим модулем (E) резин на основе СКД.

Высокая термоокислительная стойкость и динамическая выносливость при сравнительно низких напряжениях резин из СКД обеспечивает повышенное сопротивление протектора растрескиванию по канавкам рисунка.

В целях применения ценных свойств, присущих определенным типам полимеров, в рецептуре резин широко используются комбинации каучуков, позволяющие не только компенсировать недостатки того или иного полимера, но и в ряде случаев обеспечить более высокие свойства, чем у резин с применением индивидуальных полимеров. Примером может служить повышенная усталостная выносливость резин на основе полиизопрена и полибутадиена. Добавление БСК к полиизопрену позволяет повысить стойкость резин к реверсии при вулканизации, термоокислительную устойчивость и сцепление с мокрой дорогой.

С другой стороны, введение небольших количеств полиизопрена в протекторные резины на основе БСК и БСК + СКД повышает клейкость, прочность связи с бреккером и прочность стыка протектора при сборке. Добавки СКД (20–30 мас. ч.) обеспечивают повышение динамического модуля, стойкости шин к «растрескиванию» по канавкам протектора и морозостойкости.

При этом комбинирование СКД с СКИ и БСК позволяет компенсировать присущие резинам с СКД неудовлетворительные технологические свойства, склонность к «скалыванию», низкий коэффициент трения.

Температура окружающей среды также оказывает существенное влияние на выбор типа полимера. При высоких температурах для грузовых шин целесообразно применение СКИ или СКИ с добавками БСК, для легковых – БСК.

При низких температурах для грузовых шин рекомендуется СКИ + СКД, для легковых шин – БСК + СКД + СКИ или БСК + СКД.

Содержание техуглерода, оптимального с точки зрения износостойкости, выбирается в пределах области наполнения, которая сдвигается в сторону большей концентрации техуглерода в ряду резин $НК < СКИ-3 < БСК < СКД$.

При выборе содержания техуглерода и пластификатора учитывается необходимость обеспечения перерабатываемости смесей и требований к упругогистерезисным свойствам. Поскольку гистерезисные потери возрастают с повышением наполнения, для протектора шин больших размеров содержание техуглерода выбирается на нижнем пределе, а для протектора легковых и малых грузовых шин – на верхнем.

Усиление эластомеров определяется физическим и химическим взаимодействием макромолекул эластомера с частицами

наполнителя и обусловлено физической адсорбцией или хемосорбцией. Поэтому усиление зависит от двух факторов: величины межфазной поверхности и энергии взаимодействия.

В соответствии с этим важнейшими физико-химическими характеристиками наполнителей, ответственными за эффект усиления резин, являются их удельная поверхность, морфология дисперсных частиц (структурность), химическая и энергетическая природа поверхности. В процессе смешения наполнители и, особенно, техуглерод взаимодействуют с полимером, образуя так называемый связанный каучук. Повышение удельной поверхности, структурности техуглерода, энергетической и химической активности его поверхности увеличивают степень межфазного взаимодействия техуглерод – полимер.

Согласно результатам дорожных испытаний шин, с увеличением удельной поверхности техуглерода износостойкость возрастает особенно в мягких условиях эксплуатации (т. е. при сравнительно невысоких боковой силе и крутящем моменте). Напротив, преимущество по износостойкости от повышения структурности техуглерода проявляется только в жестких условиях эксплуатации шин. Это может быть объяснено уменьшением доли износа посредством «скатывания» более жестких твердых (высокомодульных) резин с высокоструктурным техуглеродом. С увеличением удельной поверхности и структурности техуглерода увеличиваются гистерезисные потери и, следовательно, потери на качение шин. В связи с ростом гистерезисных потерь наблюдается тенденция к некоторому улучшению сцепления шин с дорогой при использовании техуглерода с повышенной удельной поверхностью. Одновременное улучшение этих двух свойств является уникальной особенностью техуглерода.

Наполнение техуглеродом составляет (в расчете на 100 мас. ч. углеводорода каучука) в резине крупногабаритных шин на основе 100% СКИ-3 45 мас. ч. (с добавками кремнекислотного наполнителя), для протектора автобусных и тяжелых грузовых шин на основе СКИ-3 + СКД – 50–55 мас. ч., в протекторной резине для средних грузовых шин на основе СКИ-3 + СКД + БСК – 55–60 мас. ч., для легковых радиальных шин на основе БСК – 60–65 мас. ч., для малых грузовых и легковых шин на основе БСК + СКД – 65–70 мас. ч. Содержание масла на 100 мас. ч. углеводорода составляет соответственно 5–10, 10–15, 15–20, 25–30 мас. ч.

На степень межфазного взаимодействия существенное влияние оказывают содержание и тип пластификатора. Пластификаторы, особенно термопластичные, взаимодействуют с активными центрами на поверхности техуглерода, снижая тем самым содержание «связанного» каучука. Помимо этого, пластификаторы уменьшают густоту вулканизационной сетки. Оба эти фактора приводят к падению упругопрочностных свойств и износостойкости, причем отрицательное влияние пластификаторов не может быть полностью компенсировано повышением степени вулканизации.

Следует также отметить, что увеличение содержания жидких пластификаторов приводит к ухудшению степени диспергирования технического углерода и сдвигу оптимального значения модуля в сторону меньших значений, а последнее влечет за собой повышение работы трения в контакте и, следовательно, снижение износостойкости.

Технологические свойства протекторных резиновых смесей улучшаются введением 14–19 мас. ч. нефтяных масел с использованием термопластичных мягчителей в качестве промоторов клейкости таких, как октофор N, смола СФЭС и другие, в количестве 1–3 мас. ч. Эффективно повышает пластичность резиновых смесей мягчитель АСМГ-1, получаемый в результате окисления остаточных продуктов после прямой перегонки нефти, на поверхность которого нанесен технический углерод марки П701 в количестве 6–8%, необходимым для достижения подвижности гранул. При этом повышается влагостойкость резин, а гранулированная форма его по сравнению с рубраксом снижает трудозатраты при развеске в подготовительных цехах.

Выбор состава вулканизирующей группы обусловлен необходимостью обеспечить безопасную переработку смесей, с одной стороны, и высокую скорость вулканизации и минимальную реверсию свойств – с другой. Для смесей на основе СКИ-3 и СКД, характеризующихся высокой склонностью к подвулканизации и скоростью вулканизации, рекомендуется применять ускорители замедленного действия типа сульфенамид Т (TBBS) и сульфенамид ДЦ (DCBS), а в резинах на основе 100% БСК и с его большим содержанием – сульфенамид Ц (CBS).

Структура вулканизационной сетки (концентрация, химический состав и строение поперечных связей, содержание эластически активных цепей) оказывает существенное влияние на свойства

резин. Зависимость разрывной прочности и износостойкости от концентрации поперечных связей проходит через максимум. Для вулканизатов с одинаковой долей активных цепей максимальное значение прочности снижается в ряду резин с преимущественным содержанием следующих типов связей: ионные > поли- > ди- > моносulfидные > углерод-углеродные (C–C).

В то же время для обеспечения термической и термоокислительной стойкости резин необходимо образование вулканизационных сеток с термостойкими поперечными связями. При утомлении при больших амплитудах деформации и комнатной температуре преимущество по усталостной выносливости имеют резины с ионными и полисulfидными связями, а при малых деформациях и высоких температурах резины с C–C связями.

Таким образом, для получения протекторных резин с удовлетворительным комплексом свойств необходимо сочетание вулканизационных связей различной энергии при их оптимальной густоте.

Выбор степени вулканизации определяется оптимальным сочетанием основных характеристик протекторных резин.

В радиальных шинах целесообразно применение более жестких, чем в диагональных шинах, протекторных резин. Это связано с тем, что работа трения в контакте радиальных шин монотонно снижается с повышением модуля сдвига, а для диагональных шин эта зависимость проходит через минимум.

Использование для радиальных шин резин с повышенным модулем целесообразно также с точки зрения снижения износа резины, особенно в зоне угла беговой дорожки, и улучшения устойчивости и управляемости автомобиля.

Таким образом, при разработке протекторных резин для легковых радиальных шин необходимо ориентироваться на высокомодульные резины, так как в этом случае не только обеспечиваются высокая износостойкость и низкие гистерезисные потери, но и улучшаются сцепные качества, не возникают дефекты, характерные для жестких резин: трещины и сколы по протектору.

Однако при этом увеличивается опасность подвулканизации смесей, появления надрывов шашек протектора при вулканизации, а также растрескивания по канавкам рисунка протектора при эксплуатации.

С целью повышения стойкости к реверсии и теплостойкости резин целесообразно использовать уменьшенное соотношение

серы и ускорителя (полуэффективные системы вулканизации). Для протекторных смесей, подвергающихся длительной вулканизации, применяются системы с малым количеством серы, содержащие вторичные ускорители.

В качестве замедлителей вулканизации для резин на основе стереорегулярных каучуков рекомендуется N-циклогексилтиофталимид (сантогард PVI), а для смесей с преимущественным содержанием БСК – фталевый ангидрид.

Максимальная износостойкость резин достигается в области оптимальной степени вулканизации, которая понижается в ряду

$$\text{НК} > \text{СКИ-3} > \text{БСК} > (\text{СКИ-3} + \text{СКД}) > \\ > (\text{СКИ-3} + \text{СКД} + \text{БСК}) > (\text{БСК} + \text{СКД}).$$

Следует стремиться к повышению степени вулканизации резин до предела, обусловленного сохранением удовлетворительной перерабатываемости смесей, максимальной износостойкости и отсутствием растрескивания и выкрашивания протектора.

Особенностью отечественной шинной промышленности является применение в производстве 100%-ного синтетического каучука (СК). Это во многом определяет основные принципы рецептуростроения шинных резин (табл. 3).

Таблица 3

Типовые рецепты протекторных резиновых смесей, мас. ч.

Наименование компонентов	Большегрузные шины	Грузовые шины	Легковые шины	Боковины шин типа Р
НК или СПИ	70,0	50,0	20,0	50,0
СКД	30,0	30,0	40,0	50,0
БСК	—	20,0	40,0	—
Сера	1,6	1,8	1,7	1,2
Ускорители вулканизации	1,2	1,3	1,1	1,1
Окись цинка стеарин технический	5,0 2,0	5,0 2,0	4,0 2,0	5,0 2,0
Замедлители подвулканизации	0,3	0,3	0,3	0,3
Модифицирующая группа	1,0	1,0	1,0	—
Противостарители	2,5	2,5	3,0	4,0
Воск микрокристаллический	2,0	2,0	2,0	2,0
Мягчители	15,0	19,0	14,0	11,0
Технический углерод: активный полуактивный	55,0 —	55,0 —	65,0 —	— 50,0

При разработке и оптимизации рецептуры протекторных резин с повышенной стойкостью к механическим повреждениям используют приемы, направленные на изменение их физической и химической структуры. К ним относятся применение комбинаций каучуков, активных марок технического углерода с кремнекислотными наполнителями, минимальных дозировок мягчителей, а также модифицирующих систем полифункционального действия.

Одним из перспективных направлений улучшения эксплуатационных характеристик шин является использование в протекторных резинах белой сажи (активной коллоидной кремнекислоты с диаметром частиц не более 25 мк) взамен части технического углерода или сверх его. При этом повышается сцепление шин с мокрой дорогой и стойкость резин к механическим повреждениям. Однако в связи со слабым взаимодействием кремнеземов с полимерами снижается износостойкость шин при эксплуатации на дорогах с усовершенствованным покрытием. Этот недостаток в значительной степени устраняется путем применения модификаторов, образующих при вулканизации химические связи между каучуком и силанольными группами кремнезема. Наиболее распространенным сшивающим агентом является (бистриэтоксисилилпропил) тетрасульфид (TESPT). Применение комбинации техуглерода с белой сажой в присутствии силанов позволяет решить проблему создания протекторных резин, обеспечивающих снижение потерь на качение при сохранении сцепления шин с мокрой дорогой.

В настоящее время большое внимание уделяется использованию в резинах коротких органических волокон, которые при обеспечении достаточной прочности связи волокон с полимером сообщают резинам уникальный комплекс свойств: высокие упругие свойства (при малых деформациях) в сочетании с высокой эластичностью и низким теплообразованием при постоянной нагрузке.

5.1.1. Покровные резины – беговая дорожка

Требования к свойствам протекторных резин дифференцируются в зависимости от типа и размера шин, условий их эксплуатации. С увеличением размера шин возрастает роль теплообразования, которое для большегрузных шин становится фактором, определяющим их надежность и работоспособность. Поэтому по мере увеличения размера шин повышаются требования к упругосте-

резисным свойствам протекторных резин и прочности связи с брекером. Для легковых шин величина гистерезисных потерь протекторных резин в изученных пределах практически не влияет на их надежность и работоспособность. В связи с этим в протекторных резинах для таких шин с целью повышения их сцепления с мокрой дорогой допускается некоторое увеличение гистерезисных потерь.

Для шин радиальной конструкции с металлокордным брекером, характеризующихся повышенной износостойкостью, возможно дальнейшее увеличение коэффициента трения резин за счет некоторого снижения их износостойкости. Однако это недопустимо для легковых шин диагональной конструкции, долговечность которых определяется износостойкостью протектора.

К упругогистерезисным свойствам протекторных резин для крупногабаритных шин, эксплуатируемых в карьерах и рудниках с большим плечом перевозок (т. е. при сравнительно высоких скоростях), предъявляются повышенные требования. Для шин, применяемых при перевозках с малым плечом, т. е. при низких скоростях и соответственно невысоком теплообразовании, эти требования существенно снижены, что открывает возможность использовать менее эластичные резины с повышенной стойкостью к механическим повреждениям.

Требование обеспечения высокой стойкости к механическим повреждениям становится менее значительным для протекторных резин шин, эксплуатируемых на усовершенствованных дорогах (троллейбусные, автобусные и легковые). Однако для шин радиальной конструкции стойкость к механическим повреждениям очень важна в обеспечении высокой долговечности и ремонтпригодности шин.

В шинах «Р» целесообразно применять более жесткие, чем в шинах «Д», протекторные резины. Это связано с тем, что работа трения в контакте шин «Р» монотонно снижается с повышением модуля сдвига, а для шин «Д» эта зависимость проходит через минимум.

Использование резин с повышенным модулем для шин «Р» разумно также с точки зрения снижения повышенного износа резины в зоне угла беговой дорожки и улучшения устойчивости и управляемости автомобиля.

Потери на качение и, следовательно, теплообразование в шинах прямо связаны с отношением модуля внутреннего трения K к динамическому модулю E в протекторных резинах. В связи с тем, что резины на основе НК, СКИ-3, СКД характеризуются низким

модулем K , то с повышением размера шин возрастает их содержание и, соответственно, снижается доля БСК.

В протекторе легковых шин используются резины на основе 100%-ного БСК (преимущественно в шинах «Р» с металлокордом в бреkerе) и комбинация БСК с 25–40 мас. ч. СКД (преимущественно в шинах «Д»).

В протекторе тяжелых грузовых шин, эксплуатируемых в условиях перегрузок и высоких температур окружающей среды, а также автобусных шин применяется резина на комбинации СКИ-3 + СКД (70 : 30).

Для КГШ, эксплуатируемых в карьерах и рудниках с большим плечом перевозок, используются протекторные резины на основе изопреновых каучуков, сочетающие удовлетворительную стойкость к механическим повреждениям с низкими гистерезисными потерями.

Выбор состава вулканизирующей группы обусловлен необходимостью обеспечить безопасную переработку смесей, с одной стороны, и высокую скорость вулканизации и минимальную реверсию свойств – с другой. Для смесей на основе СКИ-3 и СКД, характеризующихся высокой склонностью к подвулканизации и скоростью вулканизации, рекомендуется применять ускорители замедленного действия, в частности сульфенамид М, а в резинах на основе 100%-ного БСК и с его большим содержанием – сульфенамид Ц. С целью повышения стойкости к реверсии и теплостойкости резин имеет смысл использовать уменьшенное соотношение серы к ускорителю.

Для протекторных смесей, подвергающихся длительной вулканизации (КГШ и СКГШ), применяется система с малым количеством серы, содержащая дитиодиморфолин. В качестве замедлителей вулканизации для резин на основе стереорегулярных каучуков рекомендуется N-циклогексилтиофталимид (сантогард РVI), а для смесей с преимущественным содержанием БСК – фталевый ангидрид.

Выбор типа и содержания наполнителей и пластификаторов. В целях унификации типов технического углерода (техуглерод) в шинной промышленности для всех размеров шин применяется техуглерод П-324, П-245 и П-514. В настоящее время наряду с техническим углеродом используются природные минеральные наполнители как экологически безопасные ингредиенты эластомерных композиций, их можно рассматривать в качестве наполнителей будущего для создания так называемых «зеленых шин».

Из жидких пластификаторов наибольшее применение нашли высокоароматические нефтяные масла. Для улучшения технологических свойств смесей вводят термопластичные пластификаторы.

Содержание техуглерода выбирается в оптимальных пределах с точки зрения износостойкости, наполнения, которое сдвигается в сторону большей концентрации техуглерода в ряду резин: НК < СКИ-3 < БСК < СКД.

При выборе содержания техуглерода и пластификатора учитываются необходимость обеспечить перерабатываемость смесей и требования к упругогистерезисным свойствам. Поскольку K/E возрастает с повышением наполнения, для протектора шин больших размеров содержание техуглерода выбирают на нижнем пределе области оптимальных наполнений, а для протектора малых грузовых и легковых шин – на верхнем.

Так, в расчете на 100 мас. ч. каучука в резине на основе 100% изопреновых каучуков и их комбинации с СКД содержание техуглерода для автобусных шин и тяжелых грузовых шин составляет 50–55 мас. ч.; в резине на основе СКИ-3 + СКД + БСК для средних грузовых шин – 55–60 мас. ч.; в резинах для малых грузовых шин на основе БСК + СКД – 65–70 мас. ч. Содержание масла ПН-6 на 100 мас. ч. углеводорода каучука составляет соответственно 10–15, 15–20, 25–30 мас. ч.

Содержание масла зависит от содержания технического углерода, и, следовательно, с увеличением техуглерода дозировка масла повышается. Но следует учитывать тот факт, что с ростом дозировки масла снижаются прочностные и упругогистерезисные свойства резин.

В комбинации с маслом используются смолы: КИС, СИС, нефтеполимерные, углеводородные, канифоль или смола октофор N – для повышения конфекционной клейкости. Смолы улучшают технологические свойства резиновой смеси, распределение ингредиентов в каучуке и повышают упругие свойства резин, не снижая прочностных.

5.1.2. Покровные резины – боковина

Основными требованиями к резинам боковин являются высокая усталостная выносливость и атмосферостойкость. С учетом резкого повышения усталостной выносливости при комбинировании СКД и СКИ-3 в диапазоне дозировок 30–50 : 50–70 для резин

боковин может использоваться соотношение СКИ-3 : СКД – 50 : 50, которое обеспечивает удовлетворительные технологические свойства смесей и прочность стыка боковин.

Принимая во внимание, что резина боковин работает в режиме заданной деформации, с целью снижения напряжений в резине и соответственно повышения ее работоспособности при выборе содержания вулканизирующей группы стремятся к созданию резин с относительно низким модулем при сохранении их прочностных свойств. В связи с этим содержание серы в резинах боковин составляет 1,0–1,4 мас. ч. В вулканизирующую группу входит сульфенамид Ц в сочетании с ZnO и стеариновая кислота.

В качестве наполнителя выбирается полуусиливающий тип техуглерода П514 (N660, N650, N550), который, как известно, сообщает резинам большую усталостную выносливость по сравнению с усиливающими типами техуглерода. В производстве КГШ используется П324 (N220, N330).

Содержание техуглерода в целях повышения усталостной выносливости выбирается сравнительно невысоким (45 мас. ч.) для более деформируемой резины боковин легковых шин «Р» и 55 мас. ч. – для резины грузовых шин «Р». Так как с увеличением содержания СКД ухудшаются технологические свойства резин при обработке на оборудовании, т. е. в основном смесь плохо «садится» на валок, то с целью увеличения адгезии резиновой смеси к валку в ее состав вводят термопластичные пластификаторы или бензойную кислоту в дозировке ~0,3 мас. ч.

С целью обеспечения высокой усталостной выносливости и атмосферостойкости протекторные резины содержат повышенные дозировки эффективных противоутомителей и антиозонантов (по 2 мас. ч. дусантокса 6PPD и ацетонанила Р) в сочетании с микрокристаллическим воском (2 мас. ч.). Применение подобных резин практически исключило выход шин из эксплуатации (в том числе и послеремонтный пробег) по дефекту «трещины» на боковине.

5.1.3. Покровные резины – подканавочный слой

Использование различных по составу резин в беговой и подканавочной частях протектора открывает возможность снижения потерь на качение шин без ухудшения их износостойкости и сцепления с дорогой.

К резине подканавочного слоя предъявляются требования высокой усталостной выносливости и надежной прочности связи с бреккером и беговой частью протектора. Поскольку в подканавочном слое реализуется режим нагружения, близкий к режиму заданной деформации, для обеспечения низких гистерезисных потерь следует стремиться к минимальному модулю потерь (E''). Динамический модуль должен быть при этом достаточно высоким, чтобы обеспечить необходимую боковую устойчивость шин.

За рубежом резина подканавочного слоя изготавливается на основе комбинации НК и полибутадиена (ПБ) в соотношении 60–90 : 40–10 (в среднем 75 : 25). По сравнению с резиной беговой части шин с дорожным рисунком протектора резина для подканавочного слоя характеризуется существенно большим каучукосодержанием (56–65%) и, соответственно, меньшим наполнением техуглеродом и пластификаторами (в среднем соответственно 46 и 14 мас. ч.). Низкое наполнение смесей техуглеродом обуславливает пониженную плотность резин подканавочного слоя (1,11 против 1,16–1,17 для резин бегового слоя). Твердость резины подканавочного слоя колеблется между 56–63 международными единицами, что существенно ниже, чем у резины беговой части протектора (66–70).

В НИИ шинной промышленности Российской Федерации разработана резина на основе комбинации СКИ-3 (НК) + СКД в соотношении 75 : 25 с применением полуусиливающего техуглерода или активного техуглерода, но в меньшей по сравнению с резиной беговой дорожки дозировке. Разработанная резина существенно превосходит резину беговой дорожки по усталостной выносливости и прочности связи с бреккером и характеризуется в 1,5–2,0 раза более низким модулем потерь. По данным стендовых испытаний, применение в подканавочном слое этой резины существенно (примерно на 10%) снижает потери на качение шин по сравнению с контрольными шинами (с однослойным протектором).

5.1.4. Покровные резины – «зеленые» шины

В настоящее время большое внимание уделяется проблеме создания экологически безопасной, так называемой «зеленой» шины. Концепция «зеленой» шины на стадии производства предусматривает улучшение санитарно-гигиенических условий труда, а на стадии эксплуатации, главным образом, снижение потерь на

качение шин с целью уменьшения расхода топлива и вредных выбросов в атмосферу.

С точки зрения совершенствования рецептуры резин повышение экологической безопасности при изготовлении шин достигается, в первую очередь, путем исключения или сокращения содержания материалов, при переработке которых наблюдается выделение канцерогенных олигомеров (СКД-2, СКИ-3), нитрозоаминов (эмульсионный БСК, сульфенамид М, дитиодиморфолин), полициклических ароматических углеводородов (масло ПН-6) и других вредных веществ.

С этой точки зрения перспективным является применение экологически чистых БСК, полиизопрена (ПИ) и ПБ растворной полимеризации, полученных на Li-органических и неодимовых катализаторах, ускорителей TBBS и DCBS, нефтяных масел типа MES и TDAE и растительного происхождения, непылящей полимерной серы и полифункциональных технологических добавок.

Одним из наиболее перспективных направлений создания «зеленой» шины, активно развиваемых в настоящее время, является использование в протекторных резинах осажденных высокоструктурных кремнеземов в сочетании с силанами взамен техуглерода или его части, что способствует уменьшению выделения вредных соединений из резины и обеспечивает существенное снижение потерь на качение и расход топлива автомобилем.

«Пионером» в области промышленного освоения «зеленых» шин является фирма «Michelin», которая представила на рынок высокоскоростные с дорожным рисунком протектора и зимние «зеленые» шины категорий скорости Т и Н. В настоящее время фирмы «Michelin» и «Bridgestone» при изготовлении резин для «зеленых» шин используют новейшие материалы, технологии и оборудование: RC Polimer – бутадиеновый каучук с атомом кремния на конце полимерной цепи, NanoProTech – технология с применением наноматериалов, CSDPF-YKDM – двухфазные высокодисперсные техуглерод-кремнекислотные наполнители с повышенным содержанием кремнекислоты на поверхности агрегатов, микрокапсулированные высокодисперсные кремнекислотные наполнители, резиносмесители с взаимозацепляющимися роторами с валковой головкой и др.

В России на ряде шинных заводов (ОАО «Ярославский шинный завод», ОАО «Нижекамскшина») внедрены резины «зеле-

ных» шин с применением экологически чистых растворных бутадиен-стирольных каучуков ДССК-2545М27, отечественных силикатов и высокодисперсных импортных кремнеземов, позволяющих улучшить сцепные характеристики шин на мокрой и зимней дороге и снизить потери на качение.

5.2. Обкладочные резины

Каркасные и брекерные резины должны обладать высокой выносливостью к многократным деформациям и низкими гистерезисными потерями, сохранять свои свойства при высоких температурах, т. е. иметь большую температуростойкость, высокое сопротивление тепловому старению, значительную прочность связи с кордом и высокую прочность связи между слоями. Кроме этих общих требований к каркасным и брекерным резинам, к последним еще предъявляется дополнительное условие – большая теплопроводность, чтобы отводить тепло, выделяющееся в каркасе и у основания протектора. Кроме того, от брекера требуется большая прочность связи с протектором и каркасом. Обкладочные резины должны обеспечивать высокий адгезионный контакт между дублируемыми элементами в процессе изготовления полуфабрикатов, сборки покрышек и в процессе эксплуатации шин. Резиновые смеси, применяемые для обрезинивания металлокорда, текстильных материалов, проволоки, разрабатываются с учетом технологии производства, условий эксплуатации каждой детали покрышки. Для формирования адгезионного контакта необходима достаточно высокая пластичность и конфекционная клейкость смесей, продолжительное пребывание смесей в вязкотекучем состоянии в начальный период вулканизации. В стандартах на готовые изделия нормируются требования к прочности связи между слоями (табл. 4).

Таблица 4

Прочность связи между слоями в покрышках, кН/м, не менее

Наименование слоев	Крупно-габаритные	Большегрузные	Грузовые	Сельскохозяйственные
Протектор-брекер	12	9–12	12	7,6
Брекер-каркас	13	8–12	7	6,9
Слой брекера	14	12	12	6,9

Обкладочные резиновые смеси должны хорошо обрабатываться на каландрах, обладать достаточной клейкостью, когезионной прочностью. Основными проблемами в рецептуростроении таких резин являются снижение гистерезисных потерь, повышение прочности связи в резинокордных системах. От таких резин требуются высокие показатели напряжения при удлинении, прочности при растяжении.

В процессе совершенствования конструкций, моделей покрышек нормативные требования, как правило, изменяются в сторону увеличения. Разные требования к свойствам брекерных и каркасных резин обуславливают различия в принципах построения их рецептур (табл. 5).

Таблица 5

Типовая рецептура обкладочных резиновых смесей

Наименование компонентов	Большегрузные шины		Грузовые шины типа Р		Легковые шины типа Р	
	брекер	каркас	брекер	каркас	брекер	каркас
НК или СКИ-3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Сера	2,4	2,2	7,0	1,8	6,0	1,6
Ускорители вулканизации	1,5	1,3	0,8	0,8	0,8	1,2
Окись цинка	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Стеарин технический	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	1,0
Модификаторы	3,0	2,0	3,0	2,0	7,0	1,5
Замедлители подвулканизации	0,5	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2
Канифоль	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	1,5
Мягчитель АСМГ или ИКС	2,0	3,0	2,0	1,0	1,0	2,0
Мягчители жидкие	4,0	3,0	3,0	3,0	1,0	—
Противостарители и противоутомители	2,0	1,5	2,0	2,0	3,0	1,0
Технический углерод: активный	15,0	—	60	20	50,0	10,0
полуактивный	30,0	40,0	—	30	—	40,0
Белая сажа	5,0	5,0	—	—	10,0	—

Предъявляемым требованиям к технологическим свойствам резиновых смесей, низким гистерезисным потерям, высокому уровню упруго-прочностных свойств и прочности связи с дублируемыми резинами, армирующими материалами отвечают резины

на основе цис-1,4-поолиизопренов. Практический интерес представляют синтетические полиизопрены, модифицированные на стадии синтеза, в частности СКИ-3-01, сообщающий резиновым смесям значительно большую когезионную прочность по сравнению с СКИ-3. Предпочтительнее использование каучуков с исходной пластичностью 0,3–0,4 для обеспечения удовлетворительного сочетания когезионных и реологических свойств смесей. Применение БСК в брекерных резинах ограничивается повышенными гистерезисными потерями, следовательно, повышенным теплообразованием при динамических нагрузках

Каркасные резины шин типа «Р» изготавливают на основе 100 мас. ч. цис-1,4-полиизопренов СКИ-3-01, СКИ-3; шин типа Д – комбинации СКИ-3 с СКС-30АРКМ-15 в соотношении 1 : 1. Выбор типа ПИ и сочетания их с другими каучуками общего назначения определяется спецификой требований к свойствам смесей и резин для различных типов и размеров шин с учетом их условий эксплуатации. Так, в смесях шин типа «Р», к которым предъявляются особо жесткие требования по обеспечению когезионной прочности, используют НК или СКИ-3-01. Каучук СКИ-3 может применяться в каркасных смесях радиальных шин с добавкой полиэтилена низкого давления (ПЭНД), который обеспечивает высокую когезионную прочность смесей. Однако резины, содержащие ПЭНД, отличаются повышенным модулем внутреннего трения. В смесях, к которым не предъявляются столь жесткие требования по когезионной прочности (шины типа «Д» основного ассортимента), используют комбинации СКИ-3-01, СКИ-3 с СКД или БСК.

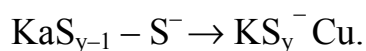
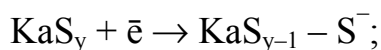
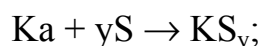
Комбинации СКИ-3-01 с СКД в соотношении 70–75 : 30–25 существенно улучшают динамическую выносливость резинокордных систем, усталостные свойства резин, повышают их морозостойкость при сохранении гистерезисных потерь на уровне резин из изопреновых каучуков. Использование небольших добавок БСК в комбинации с СКИ-3 снижает стоимость резин. Применяют такие комбинации в каркасных резиновых смесях малых грузовых шин диагональной конструкции, к которым предъявляются сравнительно невысокие требования по упругогистерезисным свойствам. В качестве эластомерной добавки в каркасные резиновые смеси может вводиться регенерат или диспор (тонко измельченная резиновая крошка) из старых изношенных резин. Введение их до

10 мас. ч. способствует повышению пластичности резиновой смеси и теплостойкости ее вулканизаторов.

Дальнейшее повышение качества шин радиальной конструкции обуславливает необходимость обеспечения высокой прочности связи резины с армирующими материалами. Одним из путей повышения адгезионной связи металлокорд – резина является увеличение межфазного взаимодействия вследствие использования реакционноспособных веществ в качестве промоторов адгезии. При оптимизации состава брекерных резин в первую очередь следует обращать внимание на влияние того или другого ингредиента на адгезионные свойства смесей к металлокорду. Определяющими факторами в достижении высокой прочности связи резины с металлокордом являются составы вулканизирующей и модифицирующей систем.

При термическом распаде модификаторов образуются активные низкомолекулярные продукты, способные вступать в реакции с эластомером и поверхностью металлокорда, внося дополнительный вклад в образование адгезионных связей. За счет модификации эластомерной матрицы улучшаются упругопрочностные свойства резин в граничных областях, увеличивается густота пространственной сетки, обуславливающая возрастание прочности адгезионного соединения. Кроме того, введение полярных групп в макромолекулу каучука интенсифицирует физическое взаимодействие полимера с субстратом.

Образование адгезионной связи латунированный металлокорд-резина связано с диффузией ионов Cu^+ и электронов через слои сульфидов меди Cu_xS у поверхности металла и резины:



Оптимальная прочность связи обеспечивается при синхронном сульфидировании меди и ее присоединении к каучуку. Регулирование количества Cu_x может осуществляться различными способами. Положительные результаты достигаются при модификации латунного покрытия металлокорда путем уменьшения доли

меди во всем покрытии или только в поверхностном слое. Эффективно применение латуни, содержащей небольшое количество кобальта, никеля или никелевого подслоя. Широко распространено введение в обкладочные резины соединений кобальта и других металлов, например молибдена или титана. В качестве промоторов адгезии рекомендуются нафтенат кобальта, стеарат кобальта $[\text{Co}(\text{NH}_3)_2]\text{C}_{12} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, соединений кобальта и бора $(\text{RCOOCu})_3\text{B}$, где R – разветвленный углеводородный радикал с 18–22 атомами углерода и др. Как отмечалось, в серийных резинах используется ограниченное количество таких соединений. Целесообразность их выбора определяется главным образом экономическими факторами, учитывающими дефицитность металла и себестоимость производства промотора.

Химическая активность применяемых промоторов адгезии повышается в присутствии достаточно реакционноспособных ингредиентов (стеариновая кислота, канифоль, смоляные кислоты, модификатор РУ и др.), которые способствуют превращению неорганических солей в соединения, растворимые в каучуке, легко образующие сульфиды на межфазной поверхности резина-металлокорд. Это определяет введение в резиновые смеси относительно высоких дозировок таких компонентов. Например, в присутствии ГХПК снижаются скорость и степень сульфидирования латуни, что увеличивает прочность сульфидного слоя; при этом в резине образуются граничные слои с повышенной плотностью сшивания.

При высоких температурах (300–600°C) ГХПК способен к непосредственному взаимодействию с медью с образованием реакционноспособных по отношению к полимеру продуктов, и хотя область температур вулканизации лежит существенно ниже указанного предела, можно предположить частичное протекание таких процессов и при вулканизации с образованием адгезионноактивных продуктов на границе раздела с латунью.

Повышение концентрации межфазных связей Cu-S или связей, образуемых компонентами латуни с модификаторами резин, достигается увеличением содержания серы в обкладочной резине до 6–8 мас. ч. Однако чрезмерно высокое содержание серы в резинах отрицательно влияет на технологические процессы производства, качество полуфабрикатов и готовых изделий. При этом наблюдается выпотевание серы на поверхность резиновых смесей,

что ухудшает конфекционную клейкость и адгезионные свойства полуфабрикатов, обуславливающие необходимость применения при сборке покрышек бензина – сильно токсичного растворителя.

Образование прочного межфазного слоя нестехиометрического сульфида меди возможно при правильном выборе соотношения серы и ускорителя и типа ускорителя.

Соотношение серы и ускорителя целесообразно иметь не менее четырех. Однако в зависимости от типа применяемого ускорителя и модифицирующей системы это соотношение может изменяться. При уменьшении содержания серы менее 2,5 мас. ч. и увеличении количества ускорителя с 0,5 до 5 мас. ч. снижается прочность связи резины с металлокордом. Отрицательное влияние на адгезионные свойства оказывает тиурам. Возможно применение каптакса, диметилдитиокарбоната цинка, целесообразнее использовать сульфенамидные ускорители.

Наиболее широкое применение в обкладочных смесях получил сульфенамид М и его аналоги и сульфенамид DZ. В последние годы в связи с тем, что использование сульфенамида М приводит к выделению нитрозоаминов, его применение сокращается, увеличивается доля сульфенамида ТБ и DZ. В качестве ускорителя вулканизации резин для обкладки металлокорда применяются сульфенамиды замедленного действия типа DCBS или MBS.

Фирмой «Байер» разработан новый сульфенамидный ускоритель вулканизации, не выделяющий нитрозаминов, N-бензтиазол-2-третамилсульфенамид, вулкацит AMZ, обеспечивающий более высокую адгезию резин к металлокорду по сравнению с сульфенамидом М. Применение сульфенамида Ц в брекерных резинах приводит к снижению прочности связи в системе резина – металлокорд при перевулканизации, что обусловлено, по-видимому, каталитическим влиянием образующегося в процессе вулканизации диклогексиламина на деструкцию серных связей между резиной и металлокордом.

С целью повышения стабильности вулканизационной сетки резин, улучшения связи их с металлокордом, особенно при перевулканизации и анаэробном тепловом старении, рекомендуется часть серы заменять на серосодержащий вулканизующий агент, например дитиодиморфолина или натриевую соль бисгексаметилен-1,6-тиосульфата $\text{H}_2\text{O}_3\text{S}_2 - (\text{CH}_2)_6 - \text{S}_2\text{O}_3\text{N}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – Дюралинк HTS. При использовании последнего соединения, кроме указан-

ных выше преимуществ, значительно улучшается стабильность прочности связи резины с металлокордом после солевого старения, а также возможно снижение оксида цинка в резиновых смесях. Дозировка ZnO в рецептах обкладочных смесей составляет обычно 6–10 мас. ч. и зависит от состава вулканизирующей и модифицирующей систем. С увеличением дозировки оксида цинка увеличиваются степень покрытия корда резиной и динамическая прочность связи резины с металлокордом.

Требуемое содержание стеариновой кислоты в смеси зависит от применяемого промотора адгезии. При использовании нафтената или стеарата кобальта не требуется дополнительно вводить стеариновую кислоту, так как имеющейся кислоты достаточно для активации вулканизирующей системы.

Общее содержание кислоты в рецептуре оказывает существенное влияние на начальную адгезию и сохранение ее в различных условиях старения. Особое влияние концентрация кислоты оказывает на прочность связи резино-металлокордной системы при тепловом и влажном старении, вследствие ее корродирующего действия. В связи с этим увеличение концентрации стеариновой кислоты выше 0,5–1,0 мас. ч. нецелесообразно.

В целях нивелирования указанных недостатков применяют полимерную серу, которую получают полимеризацией природной серы в жидком состоянии. В настоящее время основным вулканизирующим агентом для бреккерных резин является полимерная сера марки Кристекс ОТ-33 или ОТ-20, которая обеспечивает необходимую конфекционную клейкость обрезаемого металлокордного полотна и стабильность прочности связи резины с металлокордом в различных условиях старения.

Проблема повышения адгезии к текстильным кордам всегда оставалась актуальной в рецептуростроении обкладочных резин. Разработана серия модификаторов обкладочных резин на основе двухатомных фенолов. Эти системы существенно улучшают физико-механические характеристики резин и повышают адгезионную прочность многослойных резинокордных систем. Исходная модифицирующая система на основе двухатомных фенолов состояла из резорцина и гексаметилентетрамина (ГМТА) или из их комбинаций с коллоидной кремнекислотой (белой сажей). Однако она обладала существенными недостатками, к которым можно отнести плохое распределение резорцина и ГМТА в резиновых

смесях из-за их чрезвычайно низкой растворимости в полимерах; большое количество летучих продуктов, выделяющихся в процессе смешения и вулканизации из-за возгонки резорцина и уротропина и образования аммиака; склонность резиновых смесей к подвулканизации.

Снижения летучих продуктов при термическом распаде модификатора достигли введением в его состав борной кислоты или ее солей, химически связывающих продукты термической деструкции ГМТА. Эта композиция называется модификатором РУ. Однако резорцин является дорогим и дефицитным продуктом, поэтому созданы модифицирующие системы, в которых он заменен на его аналоги 5-метилрезорцин (орсин), получаемый при переработке сланцев, а также их комбинации с другими алкилрезорцинами (модификатор АРУ). Дальнейшие исследования в направлении создания доступных, относительно дешевых высокоэффективных и менее летучих, чем резотропин, модифицирующих систем привели к разработке системы РУАЛ, в которой модификатор РУ частично замещен алкилрезорцинформальдегидной смолой СФ-281. Использование смолы СФ-281 позволяет снизить суммарную летучесть модифицирующей системы из-за частичного связывания резорцина в смоле, улучшить распределение кристаллического модификатора РУ в эластомерной матрице благодаря его растворению в смоле. Кроме того, резорциновый компонент смолы СФ-281 дополнительно активизирует гексаметилентетраминный компонент модификатора РУ.

Универсальной модифицирующей системой для каркасных резин является группа из модификатора РУ-1 и аморфной кремнекислоты. Белые сажи (кремнеземы) представляют собой полимерные кремнекислоты, содержащие на поверхности 5–10% силанольных групп. Высокая активность этих групп сообщает кремнеземам возможность взаимодействовать с реакционноспособными заместителями адгезивов на основе латексов СКД-1, ДМВП-10Х и другими, применяемыми при пропитке шинных текстильных кордов из синтетических волокон, а также с функциональными группами каучуков. Кроме взаимодействия силанольных групп с функциональными группами корда и адгезива, на поверхности кремнезема может происходить ионообменная реакция силанольных групп с растворимым цинком, что также оказывает влияние на адгезию. При совместном применении кремнеземов и модификатора РУ

снижается оптимальное содержание дорогостоящего модификатора с 4 до 2 мас. ч. и тем самым устраняется отрицательное действие на стойкость резиновых смесей к подвулканизации.

Механизм синергизма компонентов модифицирующей системы окончательно не установлен. Предполагается адсорбция модификатора РУ на поверхности кремнезема и ускорение его распада. Созданы новые модифицирующие системы: модификатор РУ + бентонит, кремнезем + полиэтиленмин и др. Работы по исследованию механизма действия таких систем продолжаются и остаются актуальными, так как позволяют целенаправленно создавать новые, более эффективные модифицирующие системы.

Из числа изученных соединений с функциональными группами, наиболее реакционноспособными по отношению к каучуку, волокну и пропиточному составу, интерес представляют соединения из класса изоцианатов и ароматических бисмалеимидов. Для применения в шинных резинах выбран МФБМ, обеспечивающий максимальный уровень прочности связи в резинокордных системах. Практический интерес представляют диизоцианаты, обе NCO-группы которых расположены в одном ароматическом кольце и характеризуются различной реакционной активностью. В составе обкладочных резин испытан аддукт на основе ароматического диизоцианата и заблокированного агента ϵ -капролактама, условно называемый модификатором ТК. Полифункциональность действия модифицирующей системы МФБМ + модификатор РУ заключается в способности ее компонентов не только взаимодействовать с полимерами резины, адгезива и волокна, но и участвовать в образовании термостабильных вулканизационных связей. Проведенные сравнительные испытания с серийной системой модификатор РУ-1 + белая сажа БС-120 показали, что резина с новой модифицирующей системой характеризуется более высоким уровнем жесткостных и эластических свойств, меньшими гистерезисными потерями в режиме заданной деформации. Предложенная модифицирующая система обеспечивает на 20% большую работоспособность резинокордных систем, повышенную по сравнению с эталонными шинами прочность связи между деталями покрышек.

Промоторы адгезии являются необходимой составной частью рецептуры брекерных резин для обеспечения высокой и стабильной прочности связи резины с металлокордом.

Наиболее широкое распространение получили кобальт или никель, содержащие органические соли в качестве модификаторов.

Соединения кобальта ускоряют вулканизацию и повышают плотность поперечных связей в резине. Кроме того, ионы кобальта способны в процессе вулканизации внедриться в слой оксида цинка на поверхности латуни, что приводит к уменьшению электропроводности пленки оксида цинка и снижает скорость диффузии ионов меди через эту пленку, способствуя образованию необходимого количества нестехиометрического сульфида меди, т. е. введение ионов кобальта в резиновую смесь оказывает такое же влияние на формирование промежуточного адгезионного слоя на границе резина – металлокорд, как введение кобальта в состав латунного покрытия выше. Введение солей кобальта в резиновую смесь существенно повышает стабильность прочности связи в системе резина – металлокорд при действии влаги, повышенной температуры и хлористого натрия, так как в их присутствии задерживается образование слабых граничных слоев $ZnO/Zn(OH)_2$. Однако чрезмерное количество соединений кобальта в резине может снизить стабильность прочности связи, поскольку под действием влаги возможно образование на поверхности латуни мелкозернистой пленки металлического кобальта.

Эффективность солей кобальта проявляется в большей степени при высоких дозировках серы.

Среди торговых марок кобальтсодержащих промоторов адгезии лучшие адгезионные свойства обеспечивает кобальт-бор, содержащий соединения, например Манобонд 680 С фирмы «Munchem Ltd».

Российские кобальт- или никельборсодержащие промоторы адгезии – дисолен К и дисолен Н по эффективности действия близки Манобонду 680 С и существенно превосходят нафтенат кобальта и модификатор КС. Последние не растворяются в каучуке при температуре 110°C и остаются в виде вкраплений. Дисолен К представляет собой смесевую композицию, включающую стеарат кобальта (никеля) – 50–70%; стеарат цинка – 17–40%; парафин – 9,4–12,3%; ангидрид борной кислоты 0,6–0,7%.

Указанные продукты при той же температуре растворяются полностью, что связано с более низкой температурой плавления. В присутствии дисоленов К и Н термоокислительная деструкция СКИ-3 протекает в значительно меньшей степени, чем при применении нафтената кобальта или модификатора КС.

По стабильности прочности связи после теплового старения резинокордные системы с дисоленами К и Н превосходят системы с Манобондом 680 С, а после влажного старения равноценны последнему. Существенное преимущество системы с дисоленами имеют и по прочности связи при перевулканизации по сравнению с другими промоторами.

Фирма «Байер» разработала новый промотор адгезии на основе соединений бора, повышающий прочность связи в кобальтсодержащих системах, для крепления резины к металлокорду КА 9129. Уровень прочности связи в паровой среде возрастает в 2 раза, при этом дозировку соли кобальта можно снизить на 50%.

Присущие системам с кобальт- или никельсодержащими соединениями недостатки (термоокислительная деструкция, необходимость использования больших дозировок серы) можно уменьшить при использовании в резиновых смесях дополнительно тройной системы – резорцина, донора формальдегида (групп метилена) и осажденной кремнекислоты. В качестве донора формальдегида использовали гексаметиленetetрамин (ГМТА) совместно с резорцином или модификатор РУ. В присутствии указанных соединений существенно улучшились механические свойства резин – плотность поперечного сшивания, эластичность, твердость, стойкость к старению, а также повысилась первоначальная адгезия резины к металлокорду. Однако ГМТА обладает некоторой токсичностью и склонен вызывать кожные заболевания. Кроме того, при использовании модификатора РУ образуются продукты поликонденсации, способные отщеплять аммиак в процессе вулканизации и, особенно, влажного старения, что вызывает снижение прочности связи между металлокордом и резиной. Для повышения стабильности прочности связи композита в качестве донора метальных групп используют гексаметоксиметилмеламин (ГМММ). Степень сшивания резин в присутствии ГМММ и резорцина невысокая, однако стабильность прочности связи во влажной среде существенно возрастает.

Опыт работы шинных заводов свидетельствует о высокой эффективности внедрения модифицирующих систем в обкладочных резинах, позволяющих практически полностью ликвидировать расслоение покрышек при вулканизации их в форматорах-вулканизаторах, сократить режимы вулканизации на 10%. Шины с модифицирующими системами в резинах характеризуются более вы-

сокой работоспособностью при стендовых и эксплуатационных испытаниях, уменьшается их выход по дефектам каркаса и борга. Отмечается снижение интенсивности износа шин типа «Д», связанное, очевидно, с повышением жесткости за счет повышения упруго-жесткостных характеристик каркаса и брекера.

Брекерные резины, являясь подушечным слоем в конструкции покрышки, в котором развиваются в процессе эксплуатации достаточные высокие температуры, должны иметь повышенное сопротивление тепловому старению и утомлению. Известно, что одним из наиболее эффективных способов повышения стойкости резин в процессе утомления и теплового старения является использование противоутомителей и противостарителей. Максимальным эффектом при утомлении, так же как и при тепловом старении, обладают производные *n*-фенилендиамин, характеризующиеся высокой подвижностью и мигрирующей способностью атома водорода. В рецептах обкладочных смесей применяют комбинацию дусантокса IPPD и ацетонанила Р в соотношении 1 : 1. При повышенных температурах отмечается защитное действие *n*-нитрозодифениламина, фиксированного на макромолекулах каучука СКИ-3-01.

Следует отметить, что вводимые в обкладочные резиновые смеси антиоксиданты выполняют роль стабилизаторов адгезионных связей. Введение их в количестве 0,5–2,0 мас. ч. создает благоприятные условия для формирования сульфидного слоя со свойствами, необходимыми для прочного соединения резины с металлокордом. При этом достигается повышение прочности связи резины с металлом в среднем на 15–20%. В период послевулканизационного окислительного старения антиоксиданты способствуют сохранению в течение длительного времени хороших адгезионных показателей.

Технологические свойства обкладочных резиновых смесей улучшают введением небольших количеств (до 5 мас. ч.) жидких ароматических мягчителей, таких как пластор 37, что несколько повышает прочность связи резина-резина и не оказывает отрицательного влияния на прочность связи резина – корд. Повышение дозировки вследствие их миграции на границу раздела снижает адгезионные свойства, поэтому в обкладочных резинах используют термопластичные мягчители (канифоль, октофор N, углеводородные смолы, мягчитель АСМГ-1) в количестве 3–5 мас. ч. Оптимальное соотношение мягчителей, особенно промоторов клейко-

сти, во многом определяет конфекционные свойства обкладочных смесей, клейкость и когезионную прочность. Достаточная конфекционная клейкость необходима для повышения монолитности покрышек. Когезионная прочность особенно важна для обкладочных резин шин радиальной конструкции. Так, при сборке мало-слойных покрышек резиновые смеси испытывают деформации порядка 300%. В то же время при использовании смесей с высокой конфекционной клейкостью снижается производительность труда в процессе изготовления полуфабрикатов и сборки покрышек. В этом случае повышается липкость обрезиненных кордов, образуются трудно расправляемые складки.

В рецептах обкладочных резиновых смесей применяют комбинации активного и полуактивного технического углерода, обеспечивающие необходимое сочетание технологических свойств смесей и адгезионные характеристики в многослойных изделиях. Тип технического углерода несущественно влияет на прочность связи резины с металлокордом. Однако для обеспечения высокого уровня прочностных и усталостных свойств брекерных резин применяют активные марки техуглерода – это техуглерод типа N330, N339, N351, N323.

Для получения удовлетворительной прочности связи достаточно 40–50 мас. ч. технического углерода. Увеличение дозировки техуглерода N330 до 60 мас. ч. позволяет повысить жесткость резин, динамический модуль, коэффициент усталостной выносливости в режиме заданной энергии. Одновременно возрастают гистерезисные потери.

Существенно возрастает усталостная выносливость резино-кордных систем для резин с 60 мас. ч. технического углерода при всех режимах испытания, за исключением режима заданной энергии, для которого оптимальное наполнение составляет 40 мас. ч. Усталостная выносливость резинометаллокордной системы определяется не столько усталостью резины, сколько прочностью связи резины с металлокордом, так как с увеличением наполнения возрастала энергия динамической деформации из-за увеличения модуля упругости.

Тип технического углерода оказывает некоторое влияние на стойкость резинометаллокордных систем к влажному старению.

Однако влияние типа техуглерода на стабильность адгезионной связи в присутствии промоторов незначительно.

Наилучший комплекс технологических свойств смесей и прочности связи с кордом, протекторной резиной обеспечивается при добавлении 15 мас. ч. окисленного технического углерода П243-0 и К354 к техническому углероду П514. В сравнении с техническим углеродом П234 марки К354 и П243-0 повышают в среднем на 50–70% выносливость многослойной резинокордной системы при деформации сдвига. В резинах металлокордного брекера легковых шин применяют технический углерод П323. Исследования влияния типа и содержания технического углерода на прочность связи резины с латунированным металлокордом показали, что адгезия возрастает с увеличением степени наполнения, достигая максимума при введении 50–60 мас. ч. Наблюдается некоторое повышение адгезии к металлокорду с увеличением дисперсности технического углерода. Содержание технического углерода в каркасных резинах составляет 50–55 мас. ч., так как дальнейшее повышение приводит к значительному росту гистерезисных потерь, ухудшению пластоэластических свойств и конфекционной клейкости резиновых смесей.

5.3. Изоляционные и промазочные резины

Изоляционные резины используют для изготовления наполнительного шнура (иногда отдельный рецепт) и изоляции проволоки или плетенки. В конструкции покрышки необходимо, чтобы бортовое крыло было особенно прочным и вместе с тем упругим и гибким. Резиновые смеси для изоляции бортовой проволоки должны удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к крылу, прочно соединять проволоки друг с другом, обеспечивать хорошее сцепление резины с металлом и с резиной, которой промазана ткань оберточной ленточки крыла. Чтобы обеспечить более плавный переход от металлической части крыла к резиновым и резинотканевым деталям борта, высокую прочность связи с металлом, изоляционные резины должны быть полуэбонитовыми. Твердость резин в соответствии с нормативными требованиями должна находиться в пределах 65–80 усл. ед. Требования к упругопрочностным свойствам к таким резинам значительно ниже по сравнению с основными шинными резинами. Это позволяет уменьшить содержание углеводорода полимера за счет введения

регенерата и более высокого наполнения. Одним из перспективных направлений снижения каучукосодержания и стоимости резин является применение порошкового регенерата, получаемого методом диспергирования – диспора, который характеризуется незначительной деструкцией углеводорода каучука в процессе получения, высокой степенью дисперсности, удовлетворительным распределением в смесях. Изготавливают изоляционные резиновые смеси на основе комбинаций СКИ-3 и СКМС-30АРКМ-15 в соотношении 3 : 1 при повышенном до 6,0 мас. ч. серы. С целью повышения твердости резин, снижения стоимости смесь может содержать до 70 мас. ч. полуактивного технического углерода или его комбинации с активным техническим углеродом, 20–40 мас. ч. минеральных наполнителей, например каолина, повышающего также маслостойкость резин. Повышенное наполнение определяет необходимость увеличения дозировки мягчителей. В состав резиновых смесей вводят повышенные количества мягчителя АСМГ-1 в комбинации с маслом нефтяного происхождения. В изоляционных резинах шин радиальной конструкции в целях повышения адгезионных свойств наряду с повышенным содержанием серы полимерной применяют эффективные модифицирующие системы из модификатора РУ-1 и гексола 3В в соотношении 1 : 1. Такие резиновые смеси отличаются характерным для обкладочных резин наполнением 50–55 мас. ч. из комбинации активного и полуактивного технического углерода и невысоким содержанием жидких мягчителей.

Промазочные резины используются для промазки тканей при изготовлении оберточной ленты, усилительных лент борта, крыльевой и бортовой лент.

Резиновая смесь для промазки должна обладать высокой пластичностью и хорошо обрабатываться на каландрах. Резиновая смесь заполняет все промежутки между нитями и частично между волокнами, расположенными на поверхности нити. Поэтому от промазочных резиновых смесей требуется большая пластичность, хорошая клейкость. Так, например, если пластичность протекторной резиновой смеси находится в пределах 0,28–0,35, то промазочной – $0,55 \pm 0,05$. От таких резин не требуются высокие прочностные свойства. Например, условная прочность при растяжении должна быть не менее 10,0 МПа при относительном удлинении не менее 500%. Промазочные резины должны быть достаточно теп-

лостойкими, иметь хорошее сопротивление тепловому старению и иметь высокую прочность связи с тканью.

Как правило, применяют 100 мас. ч. НК, СКИ-3 (или их комбинацию) или комбинацию НК и СКС-30АРКМ-15 в соотношении 1 : 1, табл. 6).

Таблица 6

**Типовая рецептура изоляционных
и промазочных резиновых смесей, мас. ч.**

Наименование компонентов	Изоляционная	Промазочная
НК	—	50,0
СКИ-3	70,0	50,0
БСК	30,0	—
Регенерат	40,0	60,0
Сера	6,0	3,0
Ускорители	1,5	1,6
Окись цинка	5,0	5,0
Стеарин технический	2,0	1,0
Замедлитель подвулканизации	0,5	0,5
Противостарители	3,0	2,0
Модификаторы	2,0	2,0
Мягчители жидкие	4,0	10,0
Битум нефтяной	6,0	15,0
Канифоль	2,0	4,0
Минеральные наполнители	20,0	40,0
Технический углерод:		
активный	30,0	—
полуактивный	40,0	20,0

Снижение содержания углеводорода каучука достигают введением до 60 мас. ч. регенерата. Отличительной особенностью промазочной резиновой смеси является небольшое наполнение полуактивным техническим углеродом и введение минеральных наполнителей при повышенном количестве мягчителей. Для увеличения пластических свойств резиновой смеси и теплостойкости ее вулканизатов, а также их упругости, что в основном необходимо для бортовых деталей, в состав смеси вводится до 40 мас. ч. природного мела.

В состав смеси вводят до 40 мас. ч. регенерата, который способствует снижению содержания каучука, повышает пла-

стичность резиновой смеси, что требуется для лучшего втирания смеси в ткань при промазке и повышения теплостойкости вулканизатов.

Бортовые детали – это внутренние элементы покрышки, поэтому для достижения необходимой скорости вулканизации в главном периоде вулканизирующая группа включает серу, комбинацию ускорителей (сульфенамид Ц + каптакс) и активаторы (цинковые белила и стеариновая кислота).

От элементов крыла и борта требуется высокая упругость, по этой причине дозировка серы в этих резинах несколько завышена и составляет 3,5–3,7 мас. ч. С увеличением дозировки серы повышается модуль и твердость резины.

Группа пластификаторов включает битум, канифоль сосновую и масло ПН-6. При этом следует отметить, что дозировка битума в промазочных резинах несколько завышена и составляет 10–15 мас. ч., что способствует значительному увеличению степени прессовки резины с тканью и упругости вулканизатов.

В качестве наполнителей преимущественно используется комбинация активного и полуактивного техуглерода П234 + П514 или иногда применяется только П514 в зависимости от типа эластомера.

5.4. Резина для наполнительного шнура

Комплекс технических характеристик резины для наполнительного шнура определяется конструктивными особенностями бортовой зоны. Высокий наполнительный шнур, доходящий до зоны максимальных деформаций боковой стенки шины, должен обладать, как правило, оптимальным сочетанием высокой твердости и динамической выносливости. Низкий наполнительный шнур, главная функция которого только повышение жесткости бортовой зоны, должен отвечать требованиям высокой твердости.

Работоспособность бортовой зоны определяется правильным выбором ее конструктивных параметров, оптимизацией технических свойств резины наполнительного шнура, уровнем технологических процессов заготовки и сборки шин.

Разрушение борта легковых шин обычно начинается с появления микротрещины на концах заворотов каркаса, которая, раз-

растаясь вдоль нитей корда, приводит к отслоению заворотов каркаса от наполнительной резины борта. Увеличение деформации верхней части наполнительного шнура вследствие указанного отслоения приводит к последующему разрушению резины наполнительного шнура. Первоначальный микродефект может быть также заложен в покрывку на стадии оформления бортовой части (1-я стадия сборки шин) при неудовлетворительной обработке борта прокатчиками (так называемый «рыхлый борт»).

Для наполнительного шнура можно использовать жесткую протекторную или изоляционную резину, но смесь также может изготавливаться по индивидуальному рецепту.

В зависимости от типа и размера шин рецептура смеси может строиться на основе СКИ-3, СКИ-3 + БСК или НК + БСК. Вследствие того, что резины для наполнительного шнура должны иметь повышенную жесткость, сера вводится в завышенной дозировке ~4 мас. ч. В качестве ускорителей применяется сульфенамид Ц или его комбинация с альтаксом.

Комплекс физико-механических свойств достигается присутствием в составе рецепта смеси комбинации активного и полуактивного техуглерода П234 + П514, а также иногда вводом минерального наполнителя – каолина.

Анализ состава и свойств резин для наполнительного шнура высокоскоростных шин показывает, что большинство зарубежных фирм для повышения жесткости бортовой зоны применяют наполнительную резину твердостью более 87 ед. При этом составы используемых резин достаточно сильно различаются между собой как по типу полимера, так и по степени наполнения техуглеродом и содержанию серы, что в сочетании с усиливающими фенолформальдегидными смолами позволяет получить широкий диапазон упругопрочностных и усталостных свойств.

Требование высокой конфекционной клейкости наполнительной резины борта, а также достаточного уровня пластичности и их сохранение во времени является неотъемлемым условием для получения монолитного борта на стадии сборки.

Одним из основных условий высокой работоспособности резины наполнительного шнура является стабильность ее упругопрочностных свойств и твердости в различных условиях термоокислительного старения. На устойчивость резины наполнительного шнура к термоокислительному старению может оказывать

влияние тип и дозировка усиливающей смолы, дозировка вулканизирующей системы (сера + ускоритель).

За рубежом основным типом усиливающей смолы для бортовых резин является фенолформальдегидная смола. Наиболее широко используются следующие марки: SP-6601, SFP118 (фирма «Скенектеди», США), Корефорте CE-5211 (фирма «БАСФ», Германия), Алनावол VpN-I6 (фирма «Хехст», Германия).

Кроме указанных возможно применение алкилфенолэпоксидной смолы марки АФЭС и фенолформальдегидной смолы марки СФШ-1.

5.5. Резина для изоляции бортовой проволоки

Крыло в покрышке предназначено для удержания ее на ободе колеса, поэтому оно должно быть прочным, жестким, упругим, гибким. В соответствии с этими требованиями резины должны обладать высокой твердостью, обеспечивать достаточную прочность связи с латунированной проволокой и хорошее сцепление обрезиненных проволок между собой и с резиной оберточной ленты.

В зависимости от типа и размера покрышки резиновые смеси строятся на основе СКИ-3 или его комбинации с БСК, а также возможно применение комбинации НК с БСК. Резина должна иметь высокую твердость, поэтому содержание серы в ее составе повышено до 4 мас. ч. Часто в рецептуре данных смесей используется комбинация молотой и полимерной серы. Кроме того, в вулканизирующую группу также входят ускорители (сульфенамид Ц + альтакс) и активаторы (цинковые белила и стеариновая кислота).

Для обеспечения требуемых физико-механических свойств смесь наполняют комбинацией активного и полуактивного техуглерода П234 + П514, а также иногда вводят минеральный наполнитель каолин до 10–15 мас. ч.

5.6. Резина гермослоя

Герметизирующий слой в бескамерной шине представляет собой тонкостенную резиновую деталь, предназначенную для обес-

печения необходимых герметических характеристик, в частности сохранения внутреннего и снижения внутрикаркасного давления в шине в процессе ее длительной эксплуатации. При повышенной газопроницаемости резины гермослоя герметичность шин снижается и в результате потери давления в шине повышается сопротивление качению, износ протектора, увеличивается расход топлива. Кроме того, воздух, находящийся под давлением в шине, диффундируя через резину гермослоя в каркас, увеличивает внутрикаркасное давление, что дополнительно способствует расслоению и разрушению шины.

Снижение внутреннего давления в бескамерных шинах происходит вследствие проникновения воздуха под давлением из полости шины через гермослой, резину каркаса и корд (вдоль нитей и далее через бортовую резину), через тонкую боковину и канавки протектора. Скорость падения внутреннего давления в статических условиях увеличивается с повышением температуры шин и снижается с уменьшением газопроницаемости герметизирующего слоя.

В динамических условиях падение давления ускоряется, и в этом случае увеличивается степень влияния воздухопроницаемости герметизирующего слоя. Очевидно, что потеря внутреннего давления в шинах зависит от размера шины, условий испытания и воздухопроницаемости, однако воздухопроницаемость герметизирующего слоя является наиболее существенным фактором, а использование гермослоя с минимальной воздухопроницаемостью – практически единственно возможный и эффективный путь к уменьшению потери давления в шинах.

На долговечность шин существенное влияние оказывает внутрикаркасное давление. Воздух в шине, находящийся под давлением, проникает через гермослой в структуру шины. Боковина и протектор замедляют дальнейшую диффузию, и воздух накапливается внутри каркаса.

Воздух, проникающий под давлением в каркас, обогащен кислородом вследствие его большей проницаемости через резину по сравнению с азотом. Обогащенный кислородом воздух с повышением температуры ускоряет процессы старения и утомления каркаса шин.

Вместе с воздухом при накачивании в полость шины попадают следы влаги, которая конденсируется при понижении температуры шины и превращается в пар при повышении температуры в

процессе качения шины. Пары воды вместе с воздухом проникают в структуру шины, и при длительной эксплуатации развивается давление паров влаги в каркасе.

При стоянке машины пары воды в зоне каркаса конденсируются в присутствии кислорода и вызывают ржавление металлокорда. Ржавление металлокорда, старение и утомление резины приводят к расслоению каркаса, что делает шину непригодной к восстановлению.

Долговечность шин зависит также от сохранности герметизирующего слоя в процессе эксплуатации, в частности его устойчивости к тепловому старению и утомлению.

Таким образом, герметизирующий слой с низкой воздухо- и влагопроницаемостью повышает выносливость, безопасность и экономичность шин за счет того, что обеспечивает сохранение внутреннего давления в шине, снижает уровень давления воздуха и паров воды в каркасе и замедляет процессы старения и утомления шин. Наиболее высокие результаты получаются при применении в резинах гермослоя максимального содержания галогенированных бутилкаучуков. В табл. 7 приведена относительная воздухо- и влагопроницаемость различных полимеров.

Таблица 7
Относительная воздухо- и влагопроницаемость при 65°C

Полимер гермослоя	Воздухопроницаемость	Влагопроницаемость
Натуральный каучук	8,3	13,3
Бутадиен-стирольный каучук	6,8	11,0
Хлоропреновый каучук	3,5	9,0
60 мас. ч. ГБК	3,1	3,0
100 мас. ч. ГБК	1,0	1,0

Галобутилы, по сравнению с каучуками общего назначения, имеют в 7–8 раз меньшую воздухопроницаемость и в 11–13 раз – меньшую влагопроницаемость. Низкую проницаемость галобутилов объясняют наличием большого количества метильных групп, перекрывающих друг друга, а также линейным строением молекулярной цепи, обеспечивающим плотную молекулярную упаковку, которая препятствует диффузии газов.

Хлорбутилкаучуки (ХБК) и бромбутилкаучуки (ББК) получают путем галогенирования бутил-каучука. Галоген присоединяется к изопреновым звеньям молекулярной цепи, содержание кото-

рых составляет в среднем 1,5–2,0% на 100 мономерных звеньев. В результате галогенирования каучук приобретает дополнительную функциональность: реакционноспособными являются как двойные связи изопреновых звеньев, активность которых повышается, так и атомы галогена. Энергия связи C–Br ниже, чем C–Cl, активность двойных связей выше в случае ББК, и поэтому по реакционной способности ББК превосходит ХБК.

За счет дополнительной функциональности и изменения механизма вулканизации у галогенированных бутилкаучуков (ГБК) приобретает способность к совулканизации с высококоненасыщенными каучуками. ГБК можно использовать в комбинации с высококоненасыщенными каучуками для улучшения комплекса свойств резин. Вследствие большей реакционной способности ББК лучше совулканизуется с высококоненасыщенными каучуками по сравнению с ХБК и адгезия к резине на основе высококоненасыщенных каучуков также выше.

Недостатком ГБК являются неудовлетворительные технологические свойства смесей на их основе из-за склонности смесей к подвулканизации вследствие повышенной реакционной способности каучуков.

С повышением температуры смешения свойства смесей на основе ГБК ухудшаются, в результате термомеханического воздействия увеличивается вязкость, снижается пластичность смесей, что обуславливает их повышенную усадку. Смеси на основе ГБК имеют более высокую адгезию к холодным валкам, поэтому при переработке на вальцах смесь часто переходит на задний валок.

Одной из главных проблем, возникающих при изготовлении из резин на основе ГБК деталей гермослоя методом дублирования слоев на каландре, является образование воздушных пузырей в массиве резиновой смеси, а также между слоями гермослоя и технологической прослойкой. Эта проблема обусловлена низкой воздухопроницаемостью резин на основе 100 мас. ч. ГБК, поэтому многие фирмы гермослой на основе таких резин изготавливают методом шприцевания с применением машин холодного питания.

Основные особенности изготовления смесей следующие:

- температура смеси при выгрузке после первой стадии не должна превышать 140°C;
- агенты, предотвращающие преждевременную вулканизацию и взаимодействие каучук – техуглерод (например, оксид

магния), предпочтительно вводить на первой стадии смешения в начале цикла.

Оксид цинка, являющийся вулканизующим агентом для ГБК, вводится в смесь на второй стадии смешения.

При изготовлении смесей следует учитывать, что вследствие высокого взаимодействия в системе ГБК – техуглерод температура в резиносмесителе повышается быстрее по сравнению со смесями на основе других каучуков.

Смеси с ББК в общем случае менее технологичны (имеют большую склонность к подвулканизации и усадку, меньшую клейкость), чем смеси на комбинации ХБК с НК. Прочностные показатели резин, содержащих каучуки с меньшей вязкостью, несколько ниже, чем в резинах с каучуками большей вязкости. Газопроницаемость и эластичность резин не зависят от вязкости каучуков.

Главное отличие ГБК от других каучуков, применяемых в производстве шин, состоит в том, что основным вулканизующим агентом этих каучуков является оксид цинка. В процессе вулканизации происходит дегидрогалогенирование каучука с выделением галогенида цинка и образуются связи С–С, вследствие чего вещества с кислой реакцией ускоряют вулканизацию, а со щелочной – замедляют, и поэтому каждый ингредиент должен быть рассмотрен с этой точки зрения. Вследствие большей реакционной способности ББК требования к выбору ингредиентов резиновых смесей на его основе более жесткие по сравнению с ХБК. Рекомендуют исключить бензойную и салициловую кислоту, фталевый ангидрид и др. В качестве антискорчинга наиболее эффективным для ББК является высокодисперсный оксид магния, являющийся акцептором кислоты.

В рецептах гермослая в качестве усиливающего наполнителя применяют техуглерод П514, большинство зарубежных фирм используют низкоструктурный техуглерод N660. В качестве неусиливающего наполнителя, выполняющего роль технологической добавки, применяют обычно мел в дозировке 10–40 мас. ч.

По мере увеличения содержания техуглерода увеличивается вязкость смесей, уменьшается время начала подвулканизации, повышается когезионная прочность. Наилучший комплекс свойств наблюдается при содержании техуглерода типа П514 – 50–60 мас. ч., типа N660 – 60–70 мас. ч. Газопроницаемость резин незначительно увеличивается с повышением содержания техуглерода, практически

независимо от его типа, а прочность связи при расслаивании резин гермослоя с прослойкой каркаса уменьшается, причем применение техуглерода N660 позволяет получить более высокие показатели. Кроме того, применение техуглерода N660 дает возможность увеличить динамическую выносливость резин, что благоприятно влияет на работоспособность стыкового соединения гермослоя.

Следует отметить, что замена техуглерода П514 на техуглерод N660 при одинаковой дозировке позволяет снизить вязкость смесей гермослоя, что важно для стрейнирования смесей и изготовления деталей гермослоя методом шприцевания. Исследование влияния типа жидкого пластификатора на свойства резин проводили с использованием масел, различающихся групповым составом и исходной вязкостью при 100°C: парафиновое масло – флексон 845 (вязкость 4,5 сст), парафино-нафтенное – стабилоил 18 (9,0 сст), нафтенно-ароматическое – Пластар 37/2 (38 сст) и ароматическое – Ингрален 300 (16 сст). Дозировка масла составляла 10 мас. ч.

Из результатов испытаний следует, что тип масла не оказывает заметного влияния на свойства смесей и вулканизатов на основе ББК. Резины на комбинации ХБК с НК (80 : 20), содержащие ароматические масла, имеют несколько более высокие сопротивление разрыву и раздиру, чем резины с другими типами масел. Коэффициент газопроницаемости резин практически не зависит от типа масла.

Влияние технологических добавок на свойства резин оценивали на продуктах различной структуры: структол 40MS, канифоль, Октофор N, корезин, стирольно-инденовая смола. В резинах с ББК введение добавок в большей степени, чем в резинах с ХБК + НК, снижает прочностные показатели резин и дифференцирует их по склонности к подвулканизации. Наилучшие результаты получены со структолом 40MS, который позволяет в 1,5–2,0 раза увеличить время начала подвулканизации смесей и повысить прочность связи между резинами гермослоя и каркаса. Стирально-инденовая смола по влиянию на указанные свойства несколько уступает структолу 40MS, но превосходит корезин, канифоль и Октофор N. Газопроницаемость резин практически не зависит от содержания и типа технологической добавки. С учетом результатов испытаний проведена оптимизация состава резин гермослоя для легковых шин по комплексу технологических и технических свойств, удовлетворяющих современным требованиям автомобильной промышленности (табл. 8).

Таблица 8

Состав резиновых смесей для герметизирующего слоя

Материалы	Резины			
	1	2	3	4
ББК 2222,2030	–	–	100	100
ХБК НТ-1066, 1240	80	80	–	–
Натуральный каучук	20	20	–	–
Сера	0,7	0,5	0,5	0,5
Тиазол 2МБС (альтакс)	1,5	1,5	1,3	1,3
Оксид цинка	3,0	2,0	3,0	3,0
Оксид магния	–	0,5	0,5	0,5
Стеарин	1,0	2,0	2,0	2,0
Стирольно-инденовая смола	3,0	2,0	5,0	5,0
Стабилоил-18	6,0	–	8,0	8,0
Мел	–	10,0	20,0	–
Технический углерод П-514	50,0	60,0	50,0	50,0

5.7. Резина для автомобильных камер

Камерные резиновые смеси применяются для профилирования камерных рукавов, изготовления пятки вентиля и клеев. Качеству камерных резин уделяется постоянное внимание, так как разрыв или перетирание ездовой камеры в процессе эксплуатации приводит к повреждению покрышки и может служить причиной аварии автомобиля. В то же время увеличение скоростей автомобилей, создание новых конструкций шин ставит задачу повышения надежности ездовых камер. С расширением объема выпуска радиальных шин стали более жесткими условия эксплуатации камер, поскольку они имеют более высокие деформации в зоне боковины. Выбор сырья и материалов в камерном производстве определяется, прежде всего, условиями и режимами эксплуатации ездовой камеры в шине:

- высокая газонепроницаемость стенки камеры, позволяющая надежно сохранять внутреннее давление в шине;
- высокая эластичность и низкая остаточная деформация, обеспечивающие уменьшение изнашиваемости камеры в процессе эксплуатации, которая приводит, как правило, к образованию складок, особенно при ремонте камеры;

- высокая усталостная выносливость и стойкость к старению, в первую очередь по сопротивлению раздиру, так как это определяет ремонтпригодность камеры после проколов и повреждений;
- отсутствие посторонних включений и других производственных дефектов.

К ездовым камерам, эксплуатирующимся в северных и южных районах, предъявляются повышенные требования по обеспечению соответственно температурного предела хрупкости и теплостойкости.

Кроме того, нормируется прочность стыка камеры – не менее 50% прочности резины камеры. Таким образом, камерные резины должны быть низкомодульными и иметь достаточно высокие прочностные свойства, повышенную эластичность, высокое сопротивление раздиру, проколу, разрастанию трещин при многократных деформациях, быть температуро-, теплостойкими, обладать высокой воздухо-, газонепроницаемостью. В процессе изготовления и обработки на технологическом оборудовании резиновые смеси должны иметь удовлетворительные технологические свойства, хорошо шприцеваться, иметь небольшую усадку, малый каландровый эффект.

Изготовление ездовых камер на шинных заводах представляет собой материалоемкое, крупнотоннажное производство, поэтому повышение его эффективности за счет совершенствования состава резиновых смесей, применения перспективных материалов и рационального использования дефицитного сырья остается актуальной задачей. Для комплектации шин разного ассортимента на заводах используются резины несколько типов. Легковые и грузовые камеры массового ассортимента изготавливаются из резин на основе комбинаций изопреновых каучуков СКИ-3 и СКМС-30АРК, 100 мас. ч. БК-1675Т с добавкой 2 мас. ч. ХБК. В производстве камер, эксплуатируемых в различных климатических условиях, в частности для шин с регулируемым давлением и морозостойких, рекомендована резина на основе СКИ-3 + СКМС-30АРК + СКД.

Накопленный отечественной и зарубежной промышленностью опыт подтверждает необходимость внедрения в отрасль камерных резин из БК. Передовые зарубежные фирмы выпускают грузовые камеры в основном из резин на основе БК, которые обеспечивают их высокую эксплуатационную надежность и конкурентоспособность на мировом рынке.

Расширение объемов производства камер из БК на шинных заводах лимитировалось дефицитом каучука и недостаточной однородностью его свойств. Резиновые смеси из БК характеризуются рядом реологических и вулканизационных особенностей, поэтому перевод производства может вызвать увеличение специфических производственных дефектов в готовых камерах, рост отходов резиновых смесей, снижение производительности труда. Отмечается нестабильность шприцованных заготовок, недостаточная прочность связи резинового фланца с латунным корпусом вентиля и стенкой камеры, неудовлетворительное качество стыка камеры. Все это затрудняет реализацию основных преимуществ БК в части обеспечения герметичности, уменьшения стенки камеры и снижения массы. Зарубежные фирмы большое внимание уделяют однородности свойств БК, что является залогом стабильности технологических свойств и физико-механических показателей вулканизатов.

В целях нивелирования недостатков камерных резин из БК: понижения остаточной деформации, повышения когезионной прочности, морозостойкости, снижения хладотекучести разработана резина на основе 100 мас. ч. БК-1675Т, модифицированная ХБК НТ-1068. Оптимальное содержание ХБК 1,5–2,5 мас. ч. Дальнейшее его повышение приводит к увеличению модулей и снижению работоспособности стыкового соединения камер в условиях многократных деформаций. В ряде работ показаны преимущества ездовых камер из галлоидированных БК, особенно для изготовления теплостойких камер: более высокая когезионная прочность, сопротивление образованию утонений, меньшие остаточные деформации, более высокая теплостойкость, сокращение режимов вулканизации. Однако камерные резиновые смеси из ХБК не нашли широкого применения из-за их повышенной склонности к подвулканизации, маточные без вулканизирующих агентов при 150°C и выше склонны к термоструктурированию, что затрудняет стрейнирование и переработку, отрицательно сказывается на стабильности калибров и габаритных размеров шприцованных заготовок. Камеры, изготовленные из резиновых смесей на основе БК с добавкой ХБК, превосходят камеры из комбинаций БК и СКЭПТ по клейкости, прочности стыка, имеют меньшую газопроницаемость.

Повышение когезионной прочности резиновых смесей, снижение хладотекучести достигается также введением промоторов, в

качестве которых предпочтительны вещества, обеспечивающие сшивание полимерных цепей и образование связей между полимером и техническим углеродом. Такие вещества относятся к классу нитрозосоединений: 4-динитрозоанилин (эластопар), 1,4-бис(п-нитрозофенил)пиперизин (промотор 127), N-(2-метил-нитропропил)-4-нитрозоанилин (нитрол), применяемые в дозировках 0,2–0,4 мас. ч. Указанные промоторы активизируют процессы вулканизации и уменьшают остаточные деформации в резинах на основе БК. В последние годы интерес к промоторам уменьшился из-за обнаружения канцерогенности некоторых из них, в частности нитрола.

В камерных резинах на основе БК важное значение имеет выбор состава вулканизирующих систем, так как снижение степени вулканизации отрицательно сказывается на озоностойкости камер и вызывает образование трещин в процессе их хранения при высоком содержании озона в окружающей среде. В рецептах применяют вулканизирующие системы, содержащие серу, тетраметилтиурамдисульфид (тиурам Д), ди-(2-бензтиазолил)-дисульфид (альтакс) и оксид цинка. Применение 2-меркаптобензтиазола (каптакса) менее предпочтительно ввиду большей склонности резиновых смесей к подвулканизации при переработке, что особенно важно при стрейнировании готовых смесей после второй стадии. В серийных резиновых смесях применяют серу, альтакс, тиурам соответственно 2,0; 0,5 и 1,0 мас. ч., что обуславливает время до начала подвулканизации – 30 мин при температуре 125°C.

Улучшение технологических свойств резиновых смесей достигают использованием большого ассортимента технологических добавок. Диспергирование технического углерода, улучшение конфекционных свойств смесей, обеспечение необходимой прочности стыка камеры и соединения резинового фланца вентиля с камерой зависят от эффективности применяемых смол. Эффективными промоторами клейкости являются фенолформальдегидные смолы амберол ST-137X, SP-1047, SP-1068, получаемые конденсацией смолы корезин и октофор N.

Большое влияние на технологические свойства смесей, качество заготовок оказывает выбор марки технического углерода. Хороший эффект повышения когезионной прочности смесей, сопротивления раздиру вулканизатов достигается применением комбинации технического углерода П234 и П514 в соотношении 20 : 30 мас. ч. Однако требованиям получения низкомодульных

резин в большей степени отвечает применение технического углерода П514, что позволяет увеличить его дозировку до 55–60 мас. ч. при использовании 20–22 мас. ч. парафино-нафтового масла.

В камерных резинах на основе БК используют парафино-нафтовое масло стабил-18, очищенное от полициклических ароматических углеводородов. По химическому составу и показателям качества стабил-18 не уступает зарубежному маслу флексон-845, имеет высокую стабильность физико-химических показателей, относится к практически нетоксичным соединениям и, в отличие от вазелинового масла, содержит мало летучих (1,53% при температуре испытания 150 °С). Такой мягчитель особенно пригоден при высокотемпературной вулканизации, позволяет снизить загазованность производства и улучшить санитарно-гигиенические условия труда рабочих.

5.8. Резина для изоляции пятки вентиля

Вентильные резины применяют для изоляции пятки вентиля. Они должны обеспечивать прочную связь с латунным корпусом вентиля, совулканизацию дублируемых резин и клеевой резины на основе БК (табл. 9).

Таблица 9

Состав резиновых смесей для герметизирующего слоя

Наименование компонентов	Фирма «Эринтрейд»	Фирма «Эссо»
Эссо-бутил 218	100,0	—
Эссо-бутил НТ-1068	—	100,0
Сера	3,0	3,0
Тиурам Д	1,0	1,5
Каптакс	0,8	0,8
Окись цинка	10,0	20,0
Маглит Д (тяжелая окись магния)	40,0	15,0
Маглит К (окись магния)	—	15,0
Масло флексон 845	8,0	—
Масло флексон 840	—	4,0
Технический углерод тонкодисперсный термический	60,0	40,0
Технический углерод HAF	—	15,0
Каолин	—	10,0
Силикат кальция	—	10,0

Сложность рецептуростроения вентиляных резин на основе насыщенных каучуков связана с их недостаточной прочностью связи с металлом. ХБК по сравнению с традиционными БК обладают лучшей адгезией к латунированному вентилю, но уступает по этому показателю высоконепредельным каучукам. По адгезии к эластомерам с низкой непредельностью ХБК превосходит высоконепредельные каучуки. Поэтому совмещение ХБК с СКИ-3 позволяет получать резиновые смеси с удовлетворительным комплексом технологических свойств и повышенной прочностью связи с латунным вентилем.

В производственных резинах на основе НТ-1068 в целях сохранения стабильной прочности связи с металлом вводят дополнительно кремнезем и окись магния. При использовании таких резин разрушение происходит не по границе металл – резина, а по резине, что обеспечивает надежность ездовой камеры в эксплуатации.

5.9. Клеевые резиновые смеси

Клеевые резиновые смеси предназначены для приготовления клея, применяемого для промазки резинового фланца вентиля. Образующаяся клеевая пленка должна обладать высокой клейкостью, малой усадкой, надежно соединять резиновый фланец вентиля с поверхностью камеры, обеспечивать совулканизацию дублируемых резин. Растворителем клеев является бензин. Как правило, используется клей с массовой долей 20%.

Фирма «Эссо» рекомендует следующий состав резиновой смеси для изготовления клея, мас. ч.: эссо-бутил 218 – 100, технический углерод SRF – 40, технический углерод FEF – 20, парафиновое масло – 20, окись цинка – 5,0, смола ST-137X – 20, сера – 2,0, тиурам Д – 2,0, меркаптобензтиазол – 0,5. Повышение аутогезии клея достигается введением смолы амберол ST-137X.

Для изготовления клеевых резиновых смесей используются галоидированные БК. Разработана резиновая смесь на основе 100 мас. ч. бромбутилкаучука БК-2244, которая содержит эффективную вулканизующую смесь из серы, тиазола и тиурама Д. Принципиальный состав резиновой смеси близок к вышеприведенному. Резиновая смесь наполнена полуактивным техническим углеродом (60 мас. ч.), который снижает усадку клеевой пленки, улучшает технологические свойства резиновой смеси, понижает ее себестоимость.

5.10. Диафрагменные резины

Диафрагменные резины в процессе эксплуатации работают при высоких температурах вулканизации и подвержены ускоренному тепловому старению. Кроме того, при закладке и выемке из покрышек диафрагмы испытывают значительные механические воздействия. Поэтому резины для диафрагм должны обладать большой прочностью на разрыв и раздир при высоких температурах, быть достаточно эластичными, обладать хорошей теплопроводностью, высокими усталостными свойствами при повышенных температурах. Например, напряжение при 300% удлинения должно быть не ниже 4,0 МПа, условная прочность при растяжении – 10 МПа, относительное удлинение – 500%, остаточное удлинение – не более 30%. Этим требованиям в лучшей степени отвечают резины на основе БК. Рецептuroстроение диафрагменных резин во многом определяется типом применяемого БК. Наиболее целесообразно использовать каучуки с повышенной непредельностью, меньшей вязкостью (БК-2045 или БК-2055) в количестве 100 мас. ч. с введением 10,0 мас. ч. хлоропренового каучука (наирит А) в качестве активаторов смоляной вулканизации. Вулканизация диафрагм осуществляется при температуре 180°C в течение 70 мин. Повышение стойкости резин к старению при повышенных температурах достигается смоляной вулканизацией с использованием алкилфенолформальдегидных смол типа SP-1045 (США), смолы каревер (ФРГ). Сшивающее действие смол усиливается не только полихлоропренами, но и рядом хлорорганических соединений, галогенидов металлов. Актуальность проблемы определяется дефицитом полихлоропренов. Возможна активация смоляной вулканизации диафрагменных резиновых смесей хлорсульфированным полиэтиленом, поливинилхлоридом, гексахлорпаракилолом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев, П. В. Современное состояние и перспективы развития ОАО «Белшина» / П. В. Васильев, Т. П. Валенчиц, З. В. Коптелова // Вопросы практической технологии изготовления шин. – 2008. – № 2. – С. 89–100.
2. Бакфиш, К. Новая книга о шинах / К. Бакфиш, Д. Хайнц. – М.: Астрель: АСТ, 2003. – 303 с.
3. Касперович, А. В. Технология резиновых изделий: тексты лекций для студентов заочной формы обучения специальности 1-48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 02 05 «Технология переработки эластомеров» / А. В. Касперович, Ж. С. Шашок; науч. ред. Н. Р. Прокопчук. – Минск: БГТУ, 2005. – 94 с.
4. Gumárska technológia II / Š. Prekop [etc.]. – Trenčín: Trenčianski univerzita, 2003. – 371 p.
5. Осошник, И. А. Технология пневматических шин / И. А. Осошник, Ю. Ф. Шутилин, О. В. Карманова. – Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2004. – 508 с.
6. Коллекция шин 2010 / ОАО «Белшина». – Бобруйск, 2010. – 41 с.
7. Макки, Р. А. Улучшение однородности шин – это улучшение и контроль переменных величин производственного процесса / Р. А. Макки // Мир шин. – 2008. – № 7. – С. 43–49.
8. Работа автомобильной шины / под ред. В. И. Кнороза. – М.: Транспорт, 1976. – 238 с.
9. Автомобильные шины / В. Л. Бидерман [и др.]. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во хим. лит., 1963. – 384 с.
10. Пневматические шины / С. М. Цукерберг [и др.]. – М.: Химия, 1973. – 264 с.
11. Кнороз, В. И. Шины и колеса / В. И. Кнороз, Б. В. Кленников. – М.: Машиностроение, 1975. – 182 с.
12. Шутилин, Ю. Н. Справочное пособие по свойствам и применению эластомеров / Ю. Н. Шутилин. – Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2003. – 870 с.
13. Тарковский, В. Н. Автомобильные шины / В. Н. Тарковский, В. А. Гудков, О. Б. Третьяков. – М.: Транспорт, 1990. – 217 с.

14. Пневматические шины / С. М. Цукерберг [и др.]. – М.: Химия, 1973. – 264 с.
15. Кнороз, В. И. Работа автомобильной шины / В. И. Кнороз. – М.: Транспорт, 1976. – 256 с.
16. Тарковский, В. Н. Как увеличить пробег шин / В. Н. Тарковский, В. А. Гудков, О. Б. Третьяков. – М.: Транспорт, 1993. – 89 с.
17. Уильямс, Р. Тихая жизнь возможна / Р. Уильямс // Вопросы практической технологии изготовления шин. – 2009. – № 4. – С. 51–58.
18. Шаратинов, А. Д. Диагностические нормативы для ошипованных зимних легковых шин / А. Д. Шаратинов // Вопросы практической технологии изготовления шин. – 2010. – № 1. – С. 119–135.
19. Калининский, В. С. Глобальные требования к шинам / В. С. Калининский // Вопросы практической технологии изготовления шин. – 2009. – № 1. – С. 95–108.
20. Пичугин, А. М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин / А. М. Пичугин. – М.: Типография ОАО «ВПК НПО «Машиностроение», 2008. – 383 с.
21. Рагулин, В. В. Технология шинного производства / В. В. Рагулин, Л. А. Вольнов – М.: Химия, 1981. – 264 с.
22. Мартин, Дж. М. Производство и применение резинотехнических изделий / Дж. М. Мартин, У. К. Смит / под ред. С. Ч. Бхати, В. Н. Красовского. – СПб.: Профессия, 2006. – 480 с.
23. Гуслицер, Р. Л. Шина и автомобиль / Р. Л. Гуслицер. – М.: Науч.-техн. центр «НИИШП», 2007. – 283 с.
24. Шины. Некоторые проблемы эксплуатации и производства / Р. С. Ильясов [и др.]. – Казань: Казан. гос. технол. ун-т, 2000. – 576 с.
25. Шмурак, И. Л. Шинный корд и технология его обработки / И. Л. Шмурак. – М.: Науч.-техн. центр «НИИШП», 2007. – 220 с.
26. Техничко-экономический выбор карьерных шин / В. В. Вербас [и др.]. – Днепропетровск: ИМА-пресс, 2003. – 320 с.
27. Салтыков, А. В. Основы современной технологии автомобильных шин / А. В. Салтыков. – М.: Химия, 1974. – 472 с.
28. Гришин, Б. С. Материалы резиновой промышленности (информационно-аналитическая база данных): в 2 ч. / Б. С. Гришин. – Казань: Казан. гос. технол. ун-т., 2010. – Ч. 1. – 506 с.

29. Гришин, Б. С. Материалы резиновой промышленности (информационно-аналитическая база данных): в 2 ч. / Б. С. Гришин; Федер. агентство по образованию. – Казань: Казан. гос. технол. ун-т, 2010. – Ч. 2. – 488 с.
30. Тютин, В. А. Внедорожные шины мировых лидеров / В. А. Тютин. – Днепропетровск: УкО ИМА-пресс, 1999. – 304 с.
31. Искусство выбора аграрных шин / В. В. Вербас [и др.]. – Днепропетровск: УкО ИМА-пресс, 2004. – 304 с.
32. Куперман, Ф. Е. Новые каучуки для шин. Натуральный каучук. Синтетические стереорегулярные изопреновые и бутадиеновые каучуки. Структура, свойства, применение / Ф. Е. Куперман. – М.: Науч.-техн. центр «НИИШП», 2009. – 607 с.
33. Шашок, Ж. С. Технология эластомеров: тексты лекций для студентов специальности 1-48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 02 05 «Технология переработки эластомеров» / Ж. С. Шашок, А. В. Касперович. – Минск: БГТУ, 2009. – 112 с.
34. Корнев, А. Е. Технология эластомерных материалов / А. Е. Корнев, А. М. Буканов, О. Н. Шевердяев. – М.: НППА «Ис-тек», 2009. – 504 с.
35. Prekop, Š. Gumárska technológia I / Š. Prekop [etc.]. – Žilín: Žilinskí univerzita, 1998. – 282 p.
36. Свойства резиновых смесей и резин: оценка, регулирование, стабилизация / В. И. Овчаров [и др.]. – М.: САНТ-ТМ, 2001. – 400 с.
37. Осошник, И. А. Основы рецептуростроения эластомеров: тексты лекций / И. А. Осошник. – Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 1995. – 132 с.
38. Справочник резинщика: материалы резинового производства. – М.: Химия, 1971. – 607 с.
39. Федюкин, Д. Л. Технические и технологические свойства резин / Д. Л. Федюкин, Ф. А. Махлис. – М.: Химия, 1985. – 240 с.
40. Шутилин, Ю. Ф. Теоретические основы переработки эластомеров / Ю. Ф. Шутилин. – Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 1995. – 68 с.
41. Перлина, Ж. В. О применении регенерата в шинных резинах / Ж. В. Перлина, И. В. Веселов // Вопросы практической технологии изготовления шин. – 2009. – № 5. – С. 127–132.

42. Хаберштро, Е. Изготовление резиновых смесей, наполненных кремнекислотой, методом непрерывного смешения в двух-червячном экструдере / Е. Хаберштро, Х. Кеппен // Мир шин. – 2008. – № 9. – С. 11–16.
43. Шандра, А. К. Технология шинного производства. Последние достижения и тенденции развития в будущем / А. К. Шандра // Мир шин. – 2008. – № 4. – С. 20–28.
44. Бартенев, Г. М. Трение и износ полимеров / Г. М. Бартенев, В. В. Лаврентьев. – Л.: Химия, 1972. – 240 с.
45. Жовнер, Н. А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров / Н. А. Жовнер, Н. В. Чиркова, Г. А. Хлебов. – Киров: ВятГУ: Омск, филиал РосЗИТЛП, 2003. – 276 с.
46. Бартенев, Г. М. Структура и релаксационные свойства эластомеров / Г. М. Бартенев. – М.: Химия, 1979. – 288 с.
47. Шеин, В. С. Основные процессы резинового производства / В. С. Шеин, Ю. Ф. Шутилин, А. П. Гриб. – Л.: Химия, 1988. – 160 с.
48. Ивановский, В. И. Технический углерод. Процессы и аппараты / В. И. Ивановский. – Омск: ОАО «Техуглерод», 2004. – 228 с.
49. Переработка каучуков и резиновых смесей / Е. Г. Вострокнутов [и др.]. – М.: НТИЦ «НИИШП», 2005. – 369 с.
50. Бартенев, Г. М. Физика и механика полимеров / Г. М. Бартенев, Ю. В. Зеленев. – М.: Высшая школа, 1983. – 391 с.
51. Исследование эффективности нафтама-2 в системе антиоксидантов шинных резин / Е. А. Дзюра [и др.] // Резиновая промышленность: Сырье. Материалы. Технология. Инвестиции: материалы XI Всерос. науч.-практ. конф., Москва, 23–25 мая 2005 г. / редкол.: А. Г. Шумская. – М.: ИШП, 2005. – С. 132–133.
52. Туренко, С. В. Промоторы адгезии резин к латунированному металлокорду, содержащие блокированный диизоцианат, соединения бора и кобальта / С. В. Туренко, А. Ф. Пучков, Е. В. Талби // Резиновая промышленность: Сырье. Материалы. Технология. Инвестиции: материалы XI Всерос. науч.-практ. конф., Москва, 23–25 мая 2005 г. / редкол.: А. Г. Шумская. – М.: ИШП, 2005. – С. 149.
53. Основные направления совершенствования рецептуры резин для легковых радиальных шин / А. А. Вольнов, Л. Т. Гончарова // IRC'04: тез. докл. Междунар. конф. по каучуку и резине, Москва, 1–4 июня 2004 г. – М.: ОАО «НИИЭМИ», 2004. – С. 61–62.

54. Китаев Ю. И. Неорганические активаторы адгезии резин к латунированному металлокорду на основе смеси оксидов металлов / И. Ю. Китаев, Г. И. Кострыкина // IRC'04: тез. докл. Междунар. конф. по каучуку и резине, Москва, 1–4 июня 2004 г. – М.: ОАО «НИИЭМИ», 2004. – С. 121–122.

55. Разработка протекторных резин для зимних спортивных шин с высоким сцеплением со льдом / Н. С. Максимова, Н. Н. Сизиков, А. М. Пичугин // IRC'04: тез. докл. Междунар. конф. по каучуку и резине, Москва, 1–4 июня 2004 г. – М.: ОАО «НИИЭМИ», 2004. – С. 152–153.

56. Влияние свойств протекторных резин на тепловое состояние шин для карьерных автомобилей / А. Г. Смирнов, Е. А. Дзюра, А. А. Гоголев // IRC'04: тез. докл. Междунар. конф. по каучуку и резине, г. Москва, 1–4 июня 2004 г. – М.: ОАО «НИИЭМИ», 2004. – С. 221–222.

57. Штобер, Р. Технический углерод и система – осажденный кремнезем / силан для производства шин / Р. Штобер // IRC'04: тез. докл. Междунар. конф. по каучуку и резине, Москва, 1–4 июня 2004 г. – М.: ОАО «НИИЭМИ», 2004. – С. 303.

58. Кошелев, Ф. Ф. Общая технология резины / Ф. Ф. Кошелев. – М.: Химия, 1978. – 528 с.

59. Догадкин, Б. А. Химия эластомеров / Б. А. Догадкин, А. А. Донцов, В. А. Шершнев. – 2-е изд. – М.: Химия, 1981. – 374 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. АВТОМОБИЛЬНЫЕ ШИНЫ ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА.....	4
2. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ШИН.....	11
2.1. Строение пневматической шины	11
2.2. Устройство камерных и бескамерных шин	20
2.3. Основные типы покрышек по конструкции	23
2.3.1. Покрышка диагональной конструкции.....	23
2.3.2. Покрышка радиальной конструкции	24
2.4. Грузовые шины.....	27
2.5. Крупногабаритные и сверхкрупногабаритные шины....	30
2.6. Шины для сельскохозяйственной техники.....	34
2.7. Легковые шины.....	37
2.8. Цельнометаллокордные шины	44
2.9. Основные габаритные размеры шин	47
2.10. Обозначение шин.....	48
3. РАБОТА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН	51
3.1. Контакт шины с дорогой	51
3.2. Потери энергии на качение шин	55
3.3. Сцепные свойства шины.....	57
3.4. Грузоподъемность и амортизационные свойства шин	60
3.5. Долговечность, износостойкость и дисбаланс шин.....	61
3.6. Неоднородность шин	62
4. АРМИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ	65
4.1 Общие характеристики армирующих материалов.....	66
4.2. Текстильные армирующие материалы.....	67
4.3. Металлические армирующие материалы	78

5. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РЕЦЕПТУР	
ШИННЫХ РЕЗИН	85
5.1. Покровные резины	85
5.1.1. Покровные резины – беговая дорожка	101
5.1.2. Покровные резины – боковина	105
5.1.3. Покровные резины – подканавочный слой	106
5.1.4. Покровные резины – «зеленые» шины	107
5.2. Обкладочные резины	109
5.3. Изоляционные и промазочные резины	122
5.4. Резина для наполнительного шнура.....	125
5.5. Резина для изоляции бортовой проволоки	127
5.6. Резина гермослоя.....	127
5.7. Резина для автомобильных камер.....	133
5.8. Резина для изоляции пятки вентиля	137
5.9. Клеевые резиновые смеси	138
5.10. Диафрагменные резины	139
ЛИТЕРАТУРА	140

Учебное издание

Касперович Андрей Викторович
Шашок Жанна Станиславовна
Мозгалеv Владимир Валерьевич

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ШИН

Учебно-методическое пособие

Редактор *Р. М. Рябая*
Компьютерная верстка *О. Ю. Шантарович*
Корректор *Р. М. Рябая*

Подписано в печать 03.10.2011. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 8,5. Уч.-изд. л. 8,8.
Тираж 75 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.
ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.